

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

DISSENY D'UN SISTEMA ROBOTITZAT PER CÀMERES EN UN DRON



Memòria-Pressupost-Annexos

Autor: Salvador Galimany Lluçà
Director: Antoni Grau Saldes
Convocatòria: Octubre 2018

Resum

En aquest projecte es realitza el disseny i el prototipatge d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron, més concretament un gimbal. No es comença des de zero, sinó que es parteix d'un dron ja existent a la universitat i d'una sèrie de components com una eina marcadora i unes càmeres que venen donades.

La funció del gimbal serà la inspecció, marcatge i reconeixement de canonades en la indústria. Per a realitzar aquesta funció, l'aparell incorpora una eina marcadora mitjançant boles de pintura que creen un patró aleatori en les canonades, i un parell de càmeres que no només proporcionaran visió a l'usuari del dron sinó també identificaran els patrons creats.

Per arribar al disseny definitiu es fa un estudi superficial del context del treball, i a continuació es procedeix al disseny del conjunt. S'utilitza software informàtic tant per al disseny com per a les simulacions de resistència, de manera que s'acaba obtenint un model 3D del resultat. Els components electrònics necessaris per al funcionament de l'aparell es seleccionen i adquireixen online.

Finalment, es fabriquen els components dissenyats mitjançant impressió 3D en ABS i tall làser de xapa d'alumini i es construeix un prototip de la solució adoptada. Per a futurs treballs, resta pendent dissenyar i implementar el control dels diferents components electrònics per tal d'aconseguir l'estabilització automàtica i el moviment del gimbal.

Resumen

En este proyecto se realiza el diseño y prototipaje de un sistema robotizado para cámaras en un dron, más concretamente un gimbal. No se empieza desde cero, sino que se parte de un dron ya existente en la universidad y de una serie de componentes como una herramienta marcadora y unas cámaras que ya vienen dadas.

La función del gimbal será la inspección, marcaje y reconocimiento de tuberías en la industria. Para realizar esta función, el aparato incorpora una herramienta marcadora mediante bolas de pintura que crean un patrón aleatorio en las tuberías, y un par de cámaras que no solo proporcionan visión al usuario del dron sino que también identifican los patrones creados.

Para llegar al diseño definitivo se hace un estudio superficial del contexto del trabajo, y a continuación se procede al diseño del conjunto. Se utiliza software informático tanto para el diseño como para las simulaciones de resistencia, de modo que se acaba obteniendo un modelo 3D del resultado. Los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del aparato se seleccionan y adquieren online.

Finalmente, se fabrican los componentes diseñados mediante impresión 3D en ABS y corte láser de chapa de aluminio, y se construye un prototipo de la solución adoptada. Para futuros trabajos queda pendiente diseñar e implementar el control de los diferentes componentes electrónicos con tal de conseguir la estabilización automática y el movimiento del gimbal.

Abstract

This project is about designing and prototyping a robotic system for cameras in a drone, specifically a gimbal. There is not a start from zero, because there is a drone already existing in the university, as well as some other components like a marking tool and the cameras, that are already given.

The gimbal's function is examination, marking and recognising of pipes in the industry. In order to do this function, the device uses a marking tool that uses paintballs that create a random pattern in the pipes, and a pair of cameras that not only provides the drone driver with vision but also identifies the patterns.

In order to reach the final design, a previous study of the context of the project is made. After that, the design of the gimbal is started. Informatic software is used both in the design and in the simulations made to the different designed parts. A 3D model is also obtained by using the software. All the electronic devices needed in order to make the final design work, are chosen and bought online.

Last but not least, the designed components are made by using ABS in 3D printers and laser cut on aluminium sheet, and a prototype is assembled. For future projects, the design and implementation of the control for all the electronic devices is needed in order to obtain the automatic stabilization and the movement of the gimbal.

Agraïments

Per començar m'agradaria donar les gràcies al meu tutor Antoni Grau per donar-me la oportunitat de treballar en un projecte tant interessant, el qual s'adequa enormement als meus interessos. També per la seva ajuda prestada al llarg del treball, obrint-me sempre que ho he necessitat la porta del seu despatx.

Especialment agrair a la família i amics el suport que m'han donat durant tota la carrera. L'època universitària és una de les més boniques i enriquidores de la vida, i viure-la al costat de persones importants la fa encara més especial.



Glossari

Figura 2.1 Dron militar MQ-9 Reaper (Google)	5
Figura 2.2 Dron comercial marca Xiaomi (Google)	5
Figura 2.3 Radiografia industria del dron a Espanya el 2016 (Belén Trincado, El País)	7
Figura 2.4 Gimbal senzill amb 2 graus de llibertat (Google)	8
Figura 2.5 Gimbal professional amb tres graus de llibertat (Google)	9
Figura 2.6 Imatge de la petroquímica de Tarragona (Google)	9
Figura 3.1 Simulació 3D del dron Kratos	11
Figura 3.2 Espai disponible per al gimbal amb el tren d'aterratge desplegat	12
Figura 3.3 Controlador tren d'aterratge	13
Figura 3.4 Posicions forats acoblament dron - gimbal	14
Figura 3.5 Imatge de la càmera utilitzada (Data Sheet del producte)	15
Figura 3.6 Dimensions càmera (Data Sheet del producte)	15
Figura 3.7 Objectiu M118FM08 de TAMRON (Web del fabricant)	16
Figura 3.8 Disseny 3D de l'eina marcadora a utilitzar	17
Figura 3.9 Representació eixos de gir (Google)	18
Figura 4.1. Zona disponible per a l'eina marcadora	22
Figura 4.2 Vista isomètrica "Base"	23
Figura 4.3 Vista alternativa "Base"	23

Figura 4.4 Vista isomètrica "Recobriments eina marcadora 1"	25
Figura 4.5 Vista isomètrica "Recobriments eina marcadora 2"	25
Figura 4.6 Vista isomètrica "Eix"	26
Figura 4.7 Vista isomètrica "Suport sensor IMU"	26
Figura 4.8 Vista isomètrica "Braços"	27
Figura 4.9 Vista alternativa "Braços"	28
Figura 4.10 Vista isomètrica "Vertical"	29
Figura 4.11 Vista isomètrica xapa alumini inferior	29
Figura 4.12 Vista isomètrica xapa alumini superior	30
Figura 5.1 Croquis i dimensions motor GB36-1	33
Figura 5.2 Vista superior MPU-6050	35
Figura 5.3 Vista inferior MPU-6050	35
Figura 5.4 Gómes antivibració utilitzades (blau)	36
Figura 5.5 Característiques i dimensions gómes antivibració	37
Figura 6.1 Propietats plàstic ABS	40
Figura 6.2 Propietats alumini 1050	40
Figura 6.3 Anàlisi estàtic "Base"	41
Figura 6.4 Anàlisi deformació "Base"	41
Figura 6.5 Anàlisi estàtic "Recobriments eina marcadora"	42

Figura 6.6 Anàlisi estàtic "Eix" _____	43
Figura 6.7 Anàlisi deformació "Eix" _____	43
Figura 6.8 Anàlisi estàtic "Braços" _____	44
Figura 6.9 Anàlisi deformació "Braços" _____	44
Figura 6.10 Anàlisi estàtic "Vertical" _____	45
Figura 6.11 Anàlisi estàtic "Xapa alumini inferior" _____	46
Figura 6.12 Anàlisi deformació "Xapa alumini inferior" _____	46
Figura 6.13 Anàlisi estàtic "Xapa alumini superior" _____	47
Figura 6.14 Anàlisi deformació "Xapa alumini superior" _____	47
Figura 7.1 Vista isomètrica del gimbal complet _____	48
Figura 7.2 Límit de moviment de capcineig en rotar amunt la base _____	49
Figura 7.3 Límit del moviment de capcineig en rotar avall la base _____	49
Figura 7.4 Límit del moviment de balanceig _____	50
Figura 7.5 Vista lateral del conjunt dron - gimbal _____	51
Figura 7.6 Vista frontal del conjunt dron - gimbal _____	51
Figura 7.7 Vista inferior detall del conjunt dron - gimbal _____	52
Figura 8.1 Impressora BCN3D Sigma (<i>Čapek Maker</i>) _____	53
Figura 8.2 Base _____	54
Figura 8.3 Braços _____	54

Figura 8.4 Detall unió base - braços	55
Figura 8.5 Conjunt base - braços	55
Figura 8.6 Detall unió braços amb vertical	56
Figura 8.7 Xapa alumini inferior amb gomes antivibració col·locades	56
Figura 8.8 Detall unió dron - gimbal	57
Figura 8.9 Detall sensor col·locat a la seva posició	57
Figura 8.10 Recobriments eina marcadora amb la tapa col·locada	58
Figura 8.11 Prototip complet gimbal	58
Figura 9.1 Símbol de l'ABS reciclable	61
Figura 9.2 Símbol de l'alumini reciclable	62

Taula 2.1 Ingressos generats per l'aplicació de drons en diferents sectors (PwC, Clarity from above)7

Taula 4.1 Taula comparativa ABS vs PLA (Maker Shop BCN)_____ 20

Taula 5.1 Relació pesos a suportar pels motors _____ 32

Taula 5.2 Taula de característiques GB36-1 _____ 33

Taula 5.3 Relació pesos a suportar per les gomes antivibració_____ 36

Taula 5.4 Relació cargolam utilitzat_____ 38

Taula 5.5 Relació cargolam utilitzat en les peces partides _____ 38



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
GLOSSARI	VI
1. PREFACI	1
1.1. Origen del treball	1
1.2. Motivació	2
1.3. Requeriments previs.....	2
1.4. Objectius i abast del treball.....	3
2. ANTECEDENTS	5
2.1. El dron	5
2.2. Situació actual del dron a la indústria	6
2.3. El gimbal.....	8
2.4. Marcatge de canonades amb boles de pintura	9
3. PUNT DE PARTIDA	11
3.1. Dron Kratos	11
3.2. Acoblament entre dron i gimbal	13
3.3. Càmera i objectiu	14
3.4. Eina marcadora.....	16
3.5. Característiques gimbal a dissenyar	17
4. PROCÉS DE DISSENY	19
4.1. Elecció de materials	19
4.2. Base	21
4.2.1. Requeriments i dimensions	21
4.2.2. Resultat	23
4.3. Recobriment eina marcadora.....	24
4.3.1. Requeriments i dimensions	24
4.3.2. Resultat	24
4.4. Eix.....	25

4.4.1.	Requeriments i dimensions.....	25
4.4.2.	Resultats	25
4.5.	Suport sensor unitat de mesurament inercial (IMU)	26
4.5.1.	Requeriments i dimensions.....	26
4.5.2.	Resultat.....	26
4.6.	Braços	27
4.6.1.	Requeriments i dimensions.....	27
4.6.2.	Resultat.....	27
4.7.	Vertical	28
4.7.1.	Requeriments i dimensions.....	28
4.7.2.	Resultat.....	28
4.8.	Unió dron - gimbal	29
4.8.1.	Requeriments i dimensions.....	29
4.8.2.	Resultat.....	29
5.	SELECCIÓ DE COMPONENTS	31
5.1.	Motors.....	31
5.2.	Sensor de posició	34
5.3.	Rodament.....	35
5.4.	Gomes antivibració	36
5.5.	Cargolam utilitzat.....	37
6.	SIMULACIÓ COMPUTACIONAL	39
6.1.	Propietats materials.....	39
6.2.	Base	40
6.3.	Recobriments eina marcadora	42
6.4.	Eix	42
6.5.	Braços.....	43
6.6.	Vertical	45
6.7.	Xapa alumini inferior.....	45
6.8.	Xapa alumini superior	47
7.	MODEL 3D	48
8.	PROTOTIPATGE	53
8.1.	Fabricació de components.....	53
8.2.	Muntatge.....	54
8.3.	Tasques pendents	59

9. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	61
CONCLUSIONS	63
PRESSUPOST	65
BIBLIOGRAFIA	69
ANNEXOS	71
A1. Plec de condicions	71
A2. Documentació tècnica de materials i components	73
A3. Normativa aplicable	136
A4. Plànols	170

1. Prefaci

1.1. Origen del treball

Actualment ens trobem immersos en una època en la que la revolució tecnològica està present en tots els àmbits de la vida, també en la indústria. Quan apareix una innovació, sigui de la naturalesa que sigui, aquesta sol ser adaptada i aplicada en multitud de sectors per tal de facilitar la solució d'algun problema o per fer més efectiva, ràpida o simplement més senzilla alguna tasca.

Un exemple de nova tecnologia, l'ús de la qual s'està estenent en multitud d'àmbits, són els drons. També coneguts com a vehicles aeris no tripulats (VANT), aquests instruments permeten sobrevolar ràpidament grans espais com poden ser plantes industrials. D'aquesta manera s'aconsegueix tenir fàcil i ràpid accés a qualsevol punt d'una planta industrial evitant el desplaçament de persones i, segons la naturalesa de l'espai en qüestió, sense posar-les en perill de cap manera. A més a més, existeix la possibilitat d'acoblar eines als drons per tal d'aconseguir realitzar algun tipus d'acció.

Un ús força habitual dels drons és l'acoblament d'una càmera per tal d'enregistrar vídeo o obtenir imatges aèries, doncs l'accés d'aquests aparells a zones elevades permet obtenir punts de vista diferents que serien complicats d'obtenir per una persona càmera en mà. Aquesta utilització dels drons, és la que s'utilitzarà en aquest treball per tal de dissenyar una solució adequada per a l'assoliment de l'objectiu d'aquest treball, el disseny d'un sistema robotitzat per a càmeres en un dron que permeti la identificació de canonades així com el marcatge d'aquestes amb boles de pintura.

Actualment hi ha multitud d'indústries en les que es treballa amb un o diversos fluids, els quals es distribueixen per l'interior dels centres de treball mitjançant canonades. Aquestes indústries poden anar des de la química a l'alimentària, passant per exemple per la de generació d'energia o la petrolífera. Per tal d'identificar cada canonada, així com els seus trams, la idea és utilitzar boles de pintura que generaran un patró aleatori en cada punt i unes càmeres per llegir-los.

Així doncs, fent una bona implementació d'una càmera en un dron es podria aconseguir un mètode senzill, ràpid i sense perill pels operaris d'identificació de conductes i canonades per a la indústria.

1.2. Motivació

Arribat el moment d'elaborar el treball final de grau d'una carrera universitària com Enginyeria Mecànica, un vol posar en pràctica tots els coneixements adquirits durant els anys previs per tal de posar-se a prova a un mateix i demostrar que tot l'esforç fet ha valgut la pena.

En el meu cas, el tema del treball escollit permet barrejar dues de les meves passions, la mecànica i l'electrònica. No obstant, al tractar-se del treball de final de grau d'Enginyeria Mecànica, el treball està focalitzat en aquest àmbit, ometent doncs tot el tema de control. També em crida molt l'atenció el tema del disseny, i tot el procés que té lloc des del moment en què es tenen les primeres idees fins que aquestes van evolucionant i millorant fins a trobar una solució final al problema plantejat.

Un altre factor que em motiva en l'elaboració d'aquest treball és que es té la intenció de realitzar un prototip mitjançant impressió 3D, fet que permet portar a la realitat el disseny que s'ha fet i donar una visió física de que el que s'ha pensat realment es pot dur a terme i realitza correctament la funció per la qual ha estat dissenyat.

1.3. Requeriments previs

Per tal de començar amb el disseny en si, prèviament es farà un anàlisi del context que envolta aquest treball, per tal de definir clarament a on es vol arribar i quins requeriments tècnics són de necessari compliment. Això permetrà minimitzar posteriors problemes que puguin sorgir, doncs s'obtindrà un base sòlida de coneixement sobre la qual començar a treballar. Aquest estudi previ es focalitzarà en dues parts principals.

Per una banda, tenint en compte que s'utilitzarà un dron és necessari estudiar la utilització d'aquests aparells en la indústria. No només s'haurà de tenir en compte fins on i com estan implicats en el sector, sinó també si existeix una normativa que en reguli el seu ús.

A més, serà necessari definir clarament la funció que ha de dur a terme l'aparell dissenyat, per tal que es tingui en compte durant el tot el procés de disseny i d'aquesta manera la solució final adoptada pugui realitzar-la correctament.

Aquest projecte no es comença des de zero, sinó que es parteix d'un dron ja existent i uns estris que realitzaran les funcions (càmeres i pistola llançadora de boles de pintura) ja definits. Per tant, serà necessari estudiar clarament tot aquest conjunt d'elements per tal de conèixer perfectament no només les seves característiques físiques sinó també la manera com treballen.

1.4. Objectius i abast del treball

L'objectiu d'aquest treball és el disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron per utilitzar-lo en la identificació de conductes i canonades en la indústria. Més concretament l'objecte a dissenyar és un *gimbal*, del qual se'n farà una explicació més detallada en propers apartats. El punt de partida del projecte és un dron ja definit del qual se'n tenen les dades i una sèrie d'estris que s'han d'acoblar en el gimbal dissenyat.

El disseny a realitzar, doncs, és l'estructura mecànica d'una eina (gimbal) que es pot acoblar i desacoblar fàcilment del dron i que contindrà els elements encomanats pel director del projecte.

A banda del disseny purament mecànic, s'hauran d'escollir els elements electrònics necessaris per tal que aquest gimbal sigui funcional, tot i que no s'haurà de dissenyar el control dels mateixos.

Pel que fa al disseny mecànic de l'eina, s'exposarà tot el procés de disseny, amb la justificació del perquè de la solució final adoptada. Es farà el disseny en ordinador de tot el conjunt i finalment s'imprimirà en 3D un prototip per estudiar-ne la funcionalitat.

D'altra banda, s'inclourà un anàlisi de l'impacte ambiental que la fabricació i utilització de la solució adoptada comporta. Aquest apartat és estrictament necessari, doncs en el disseny de qualsevol tipus de producte s'ha de buscar sempre el màxim respecte per la natura, minimitzant així l'impacte negatiu que les nostres accions provoquen en el medi ambient.

Per acabar, com tot producte que té com a objectiu final l'entrada en el mercat, és necessari un estudi econòmic del mateix. El cost d'un producte va molt més enllà de la fabricació, doncs una gran part del seu valor ve donat pel procés de disseny del mateix, especialment quan es tracta d'una aplicació tecnològica com aquesta.

2. Antecedents

2.1. El dron

Un dron és un vehicle aeri no tripulat que pot ser controlat de forma remota. La paraula dron prové de l'anglès *drone*, la qual es tradueix com a abellot, i s'anomena així pel característic brunzit que produeixen en la majoria de casos aquests aparells, el qual recorda al d'aquests animals. Existeix una gran varietat de drons tant per topologia, per a qui van destinats com per la funció que duen a terme.



Figura 2.1 Dron militar MQ-9 Reaper (Google)



Figura 2.2 Dron comercial marca Xiaomi (Google)

L'evolució que ha tingut aquesta tecnologia durant els darrers anys, unida a la reducció de costos d'adquisició dels mateixos, ha fet que hi hagi hagut tal proliferació d'aquests aparells que puguin arribar a tenir certs riscos per la seguretat aèria. Davant aquesta situació, a nivell espanyol ha aparegut *AEDRON* (Asociación española de drones y afines), la qual vetlla per "dotar als aficionats i professionals d'aquest sector d'un marc de seguretat, així com simplificar l'accés a tot el necessari per un ús segur i dins la legalitat d'aquests aparells", tal com indiquen en el seu portal web.

A nivell legal, també els estats estan elaborant les seves pròpies normatives per regular l'activitat d'aquest tipus d'aeronaus. Des del 30 de desembre de 2017, la llei que aplica a l'ús civil d'aquest tipus d'aeronaus és el reial decret 1036/2017, el qual es pot consultar en l'annex A3 d'aquest treball.

2.2. Situació actual del dron a la indústria

L'alt i constant ritme de creixement de la indústria dels drons ha propiciat que el març de 2018, des del Ministeri de Foment s'ha presentat un pla estratègic per al desenvolupament del sector civil dels drons a Espanya per al període 2018-2021. Aquest fet, juntament amb la conscienciació en les empreses en que l'ús de drons els poden proporcionar grans beneficis, fa preveure que la indústria continuarà creixent a un ritme igual o superior que durant els darrers anys. De l'informe realitzat l'any 2016 per l'empresa de serveis i assessoria *PwC, Clarity from above*, es pot extreure que durant l'any esmentat, els ingressos generats per l'aplicació de drons en els diferents sectors a nivell mundial va ser de 127.000 milions de dòlars, equivalents a uns 110.000 milions d'euros.

Estimació d'ingressos generats per l'aplicació de drons en diferents sectors (En milions de dòlars)	
Infraestructura	45.200
Agricultura	32.400
Transport	13.000
Seguretat	10.000
Entretenment	8.800
Assegurances	6.800
Telecomunicacions	6.300

Mineria	4.400
Total	127.300

Taula 2.1 Ingressos generats per l'aplicació de drons en diferents sectors (PwC, Clarity from above)

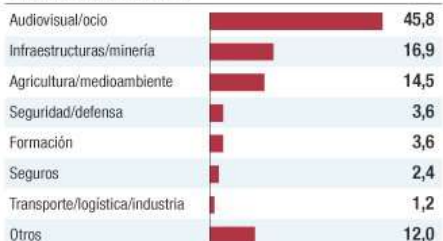
Pel que fa a nivell estatal, l'any 2016 Marimar Jiménez del diari *El País*, va realitzar una radiografia de l'estat del sector de la que es podia extreure que el predomini d'empreses involucrades en el sector era de pymes i autònoms, de recent creació i d'un nombre molt reduït d'empleats. Pel que fa a l'àrea de negoci, els sectors audiovisual/oci, la infraestructura i l'agricultura són clarament predominants, cobrint una quota del negoci de prop del 80%.

Radiografía de la industria

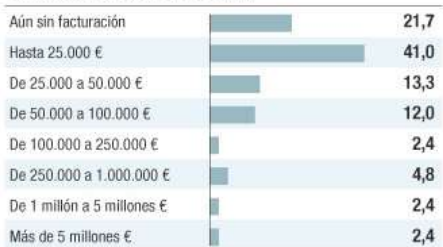
Clasificación de las empresas En %



Áreas de negocio En %



Volumen de negocio 2016 En %



Fuente: Todrone

El 40% de las empresas desarrollan su actividad en todo el territorio nacional

% de empresas/profesionales que operan en la provincia. Se excluyen provincias con porcentajes inferiores a 2,5%



BELEN TRINCADO / CINCO DÍAS

Figura 2.3 Radiografía industria del dron a España el 2016 (Belén Trincado, El País)

Pel que fa a exemples més concrets d'aplicació de drons en la indústria, empreses de venda online com *Amazon*, estan començant a experimentar amb drons per realitzar entregues substituint així les tradicionals empreses de distribució de paqueteria. En altres camps com pot ser les infraestructures, empreses com *Ferrovial* estan utilitzant drons per tal de fer anàlisis topogràfics del terreny. Per altra banda, en el sector energètic empreses líders com *Iberdrola* o *Endesa* comencen a utilitzar drons per a la inspecció de les pales dels aerogeneradors i per la revisió de les línies elèctriques l'alta tensió respectivament.

2.3. El gimbal

Un gimbal és una plataforma estabilitzadora que es manté estable independentment del moviment a la que és sotmesa. Per aconseguir aquesta estabilització s'utilitzen motors que s'operaran electrònicament mitjançant un controlador i una sèrie de sensors que detectaran la posició en tot moment per tal de realitzar les correccions pertinents.

Aquest aparell ha cobrat gran rellevància en els darrers anys degut sobretot al gran creixement que està experimentant la indústria dels drons. Sovint aquests aparells s'utilitzen per acoblar-hi una o diverses càmeres, i és important que els moviments del dron afectin el mínim possible les imatges que es prenen. Si bé és cert que les pròpies càmeres poden incorporar estabilitzadors d'imatge, l'ús d'un gimbal fa que el moviment d'aquesta es redueixi enormement i els resultats obtinguts siguin clarament millors.

De la mateixa manera que succeeix amb els drons, el creixement en l'ús d'aquests aparells fa que hagin sorgit una gran quantitat d'alternatives segons l'ús que se'ls vulgui donar, per tant es poden trobar des d'opcions molt econòmiques amb 2 graus de llibertat per a l'oci fins a unitats professionals, amb un preu molt més elevat i amb 3 graus de llibertat i de gran complexitat.



Figura 2.4 Gimbal senzill amb 2 graus de llibertat (Google)



Figura 2.5 Gimbal professional amb tres graus de llibertat (Google)

2.4. Marcatge de canonades amb boles de pintura

En multitud d'indústries s'utilitzen fluids, ja siguin líquids o gasosos, en algun moment del cicle de producció. És per això, que hi ha plantes industrials que necessiten una gran quantitat de conduccions i canonades per tal de distribuir aquests productes. Alguns exemples d'indústries podrien ser la química, petroquímica o l'alimentària.



Figura 2.6 Imatge de la petroquímica de Tarragona (Google)

Sovint aquestes conduccions poden contenir en el seu interior productes que poden ser perillosos per als treballadors de la pròpia planta i pel medi ambient en cas d'accident, per tant és important que les empreses responsables tinguin la capacitat de fer inspeccions periòdiques tal i com marquen els plans de seguretat de les mateixes.

Aquestes inspeccions, no obstant, presenten una sèrie de dificultats les quals es poden solucionar amb el disseny que es pretén realitzar en aquest treball. D'una banda, i tal i com es pot veure clarament en la Figura 2.6, l'accés a segons quins trams dels conductes pot ser difícil o fins i tot impossible per una persona. Per tant, l'ús d'un dron adequat per a realitzar aquesta funció pot facilitar enormement el procés d'inspecció.

Per altra banda, només veient la imatge que es capta amb el dron és difícil que l'operari pugui conèixer amb exactitud el tram de canonada que es troba inspeccionant. Per tal de facilitar aquesta tasca, s'ha ideat un sistema que consisteix en disparar una bola de pintura sobre cada tram o secció que es vulgui diferenciar de manera que es crea un patró aleatori en esclatar aquesta bola sobre el conducte. Aquest sistema de marcatge no és destructiu per a l'entorn, ja que no produeix cap tipus de dany a l'estructura. En cas que la pintura desaparegui amb el temps tampoc hi hauria cap tipus d'inconvenient en tornar a repetir la operació per tal d'assignar un nou patró al tram en qüestió. Aquest sistema, tampoc presenta grans complicacions pel que fa a la lectura /assignació dels patrons, ja que amb la mateixa càmera que utilitza el dron i un sistema de software adequat es pot dur a terme sense problemes. Utilitzant aquesta tècnica, doncs, es podrien arribar a crear mapes 3D de les instal·lacions, que podrien ser de gran ajuda per a multitud de treballs que s'hi hagin de realitzar.

3. Punt de partida

El disseny objectiu d'aquest treball no parteix de zero, sinó que s'aprofita la base de treballs anteriors. El gimbal a dissenyar s'haurà de poder acoblar/desacoblar del dron que es proporciona i que serà la base del projecte. Aquest dron, va ser dissenyat en el treball final de màster de Sergio Moyano Diaz, presentat el mes d'octubre de 2016 amb el nom de "Diseño y Construcción de Quadcopter con un marcador de Airsoft".

3.1. Dron Kratos

El dron que s'utilitza en aquest projecte i al qual s'haurà d'acoblar el gimbal dissenyat s'anomena *Kratos*. Es tracta d'un dron multi rotor de quatre hèlices, i està conformat per un xassís central, una carcassa de protecció i un tren d'aterratge. El xassís central conté les bateries i els processadors (tant del dron en si com del gimbal), a la vegada que fa de suport per als braços que incorporen les hèlices.

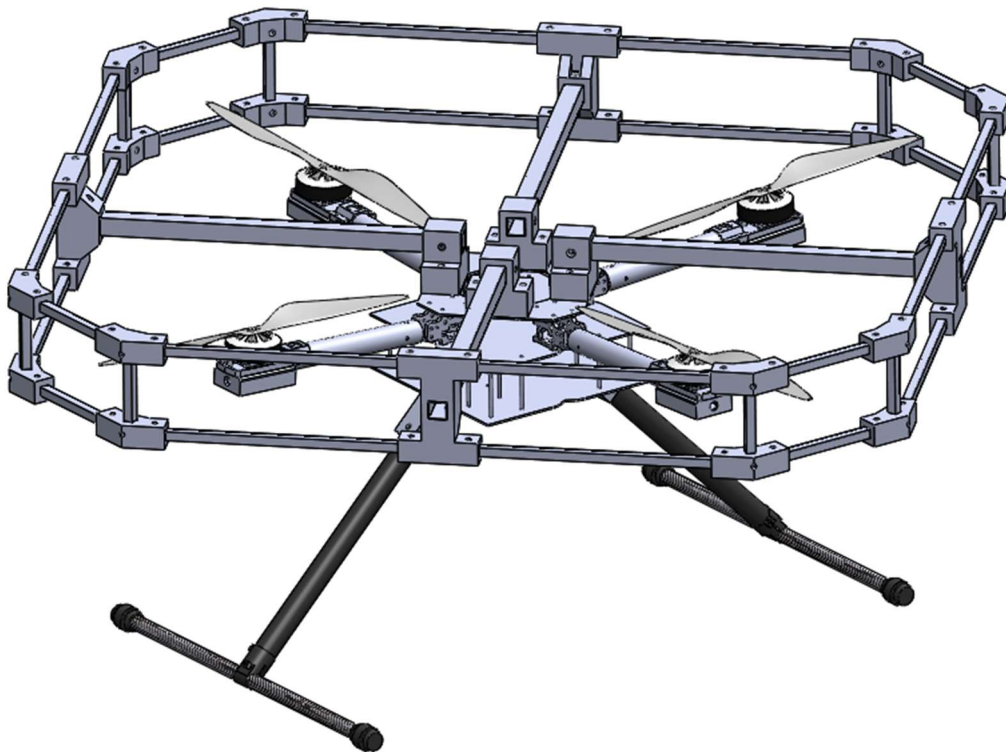


Figura 3.1 Simulació 3D del dron Kratos

El tren d'aterratge està format per dues potes que es col·loquen en posició col·lineal entre si i paral·lela a les hèlices durant el vol i automàticament se situen a 45º de la vertical en el moment de l'aterratge.

Per tant, és important tenir clar l'espai que hi ha disponible per al gimbal en el moment més desfavorable (quan el dron ha aterrat). Per tant, l'espai disponible serà el següent:

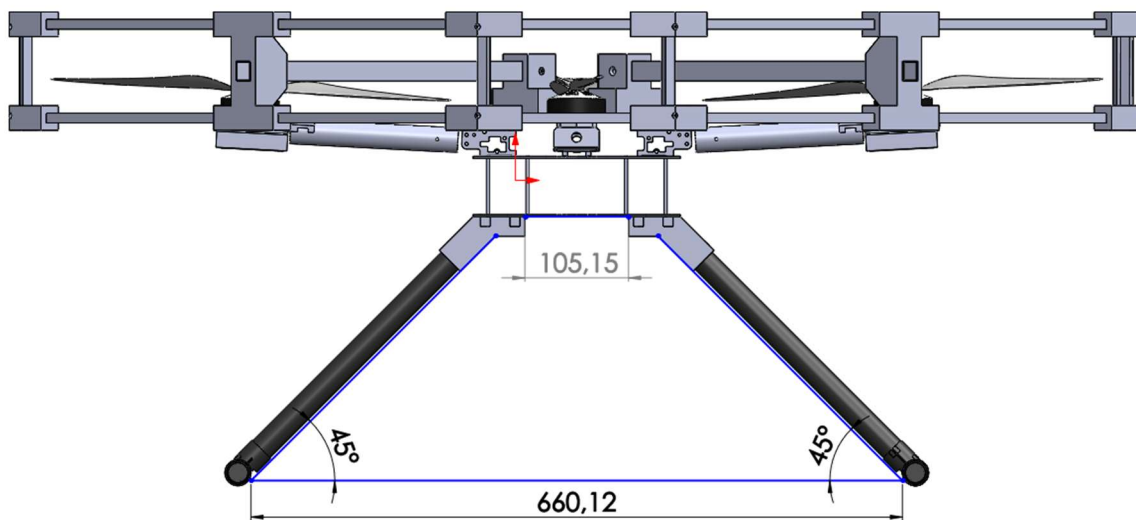


Figura 3.2 Espai disponible per al gimbal amb el tren d'aterratge desplegat

Dues característiques claus del dron que afectaran al disseny del gimbal, són la càrrega que aquest és capaç de transportar i l'autonomia del mateix. Pel que fa a la càrrega, el dron amb els seus components té una massa d'uns 4630 grams. Els motors que incorpora li donen una empenta d'uns 12 quilograms, per tant tenim un ampli marge de maniobra en el disseny del gimbal sense superar la limitació de pes. No obstant, i donat que ens interessa que la nostra aplicació sigui el més lleugera possible per tal de millorar l'estabilitat general del dron, intentarem no sobrepassar els 1500 grams. Prenem aquest valor perquè en el treball final de màster en el que es va dissenyar aquest dron també es fa fabricar un gimbal, el pes del qual era aproximadament aquest valor.

Pel que fa a l'autonomia, amb 1 sola bateria a potència màxima el temps de vol de l'aparell és de 5,21 minuts, arribant fins als 15 minuts treballant a potència mitjana. Donat que la potència consumida pel dron en els motors que li permeten volar és molt superior a la requerida pel gimbal, considerem que el consum derivat del nostre disseny no afectarà a l'autonomia total. També es pot tenir en compte que el dron està capacitat per portar més bateries, per la qual cosa l'autonomia es podia fins i tot incrementar molt més.

3.2. Acoblament entre dron i gimbal

Un factor clau per al disseny del gimbal, és que aquest es pugui acoblar i desacoblar del dron amb relativa facilitat. Concretament, el gimbal s'acoblarà al dron en la seva part inferior utilitzant quatre cargols. Observant la zona en qüestió, s'observa que s'ha de salvar un obstacle, el controlador del tren d'aterratge que també està situat en aquesta zona. A més, en la zona inferior també hi ha situats els ancoratges de les potes del tren, que també ens influeixen a l'hora de definir la zona disponible.

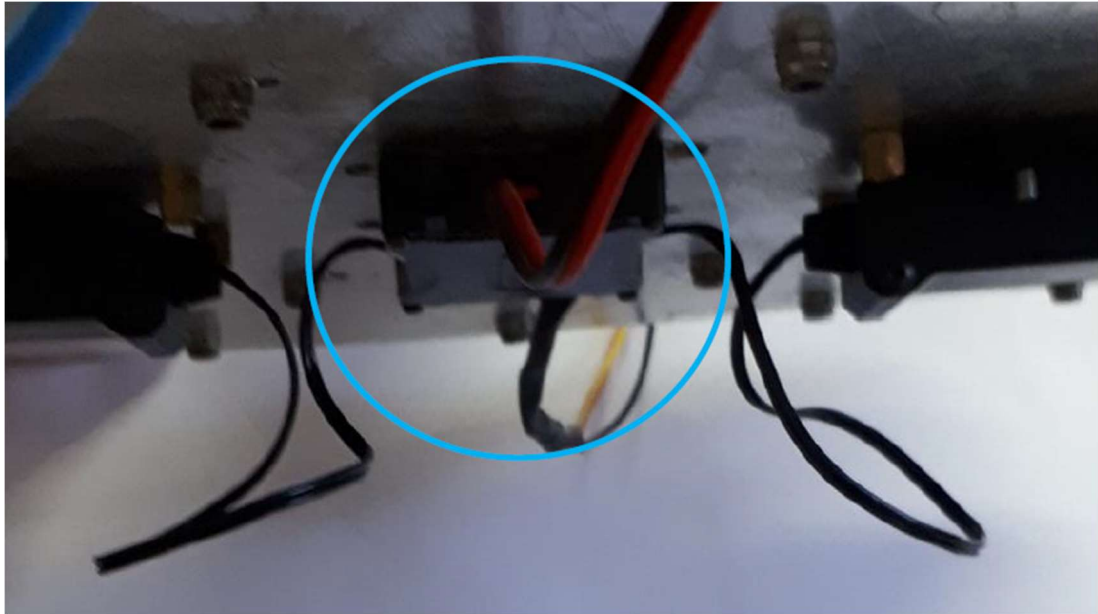


Figura 3.3 Controlador tren d'aterratge

Concretament, el controlador té una amplada de 34mm, i el seu espessor és d'uns 4mm. D'altra banda, la distància entre el controlador i els ancoratges de les potes del tren d'aterratge és de 20mm. En un inici, s'ha decidit que la base per aquest acoblament seran quatre forats segons el croquis següent, per tal que coincideixin amb els utilitzats en projectes anteriors de manera que realitzant una sola mecanització al dron sigui suficient per diferents aplicacions. Concretament s'utilitzarien quatre cargols M3, col·locats segons es mostra en la Figura 3.4. En un futur, seria necessari també mecanitzar un forat de majors dimensions en la base del dron per tal que els cables provinents dels motors i sensors del gimbal puguin ser connectats al controlador dels mateixos.

Donat que els forats en el dron s'han de mecanitzar ja que no estan fets, finalment s'ha decidit que la part del gimbal on es farà l'acoblament no anirà foradada, sinó que es deixarà la posició i dimensions dels forats en qüestió perquè siguin decidits en el moment de modificar el dron, de manera que no

s'influenciaran futures decisions sobre el conjunt de l'aparell per fer 4 forats que es podrien fer sense dificultat en un futur.

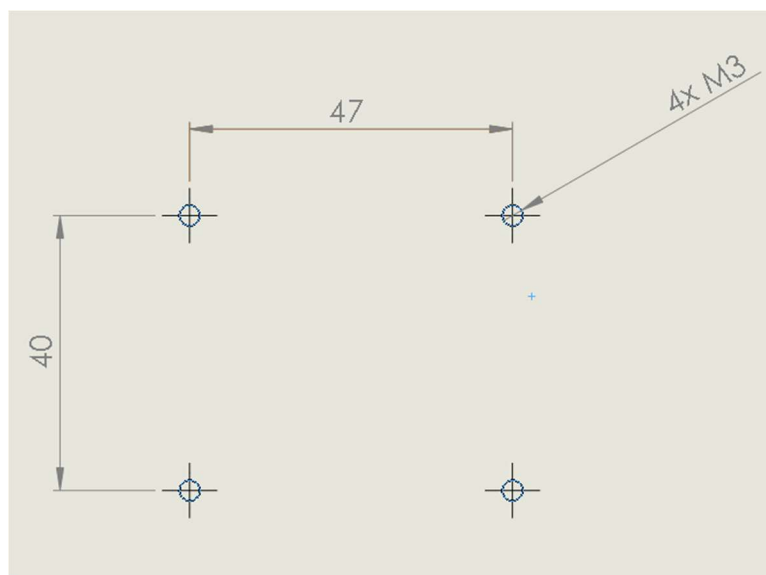


Figura 3.4 Posicions forats acoblament dron - gimbal

3.3. Càmera i objectiu

El gimbal haurà de ser capaç de contenir dues càmeres de la marca *GRASSHOPPER* model GS3-U3-32S4C. Aquestes càmeres són de visió artificial, per tant és ideal per adquirir, analitzar i processar imatges del món real per tal de produir informació que pugui ser tractada per una màquina. Aquest fet dota el sistema d'una eina que li permet analitzar el món real, ja que descompon les imatges captades en píxels que en faciliten l'estudi i la interpretació, per tant és ideal per analitzar els patrons que aconseguim en disparar les boles de pintura a les canonades.

Consultant la fulla de característiques de la càmera, es pot veure que disposa de 3.2 MP (*megapíxels*), i utilitza un sensor IMX252 de la marca *Sony* el qual és capaç de gravar a 121 FPS (*imatges per segon*) a una resolució de 2048x1536. També indica que el pes de la càmera és de 90 grams. En la fitxa tècnica que s'adjunta en l'annex 2, també es poden consultar les condicions d'humitat i temperatura tant de treball com d'emmagatzematge, les quals s'hauran de tenir en compte en fer ús de l'aparell.

L'aparell disposa de dues connexions diferents segons decideixi l'usuari. D'una banda disposa de USB3.0, que serà la que utilitzarem i mitjançant la qual es connectarà al processador per transmetre la informació i ser alimentat, consumint 5V. Per altra banda, també disposa de connexió GPIO de 8 pins, mitjançant la qual el consum seria d'entre 8V i 24V.



Figura 3.5 Imatge de la càmera utilitzada (Data Sheet del producte)

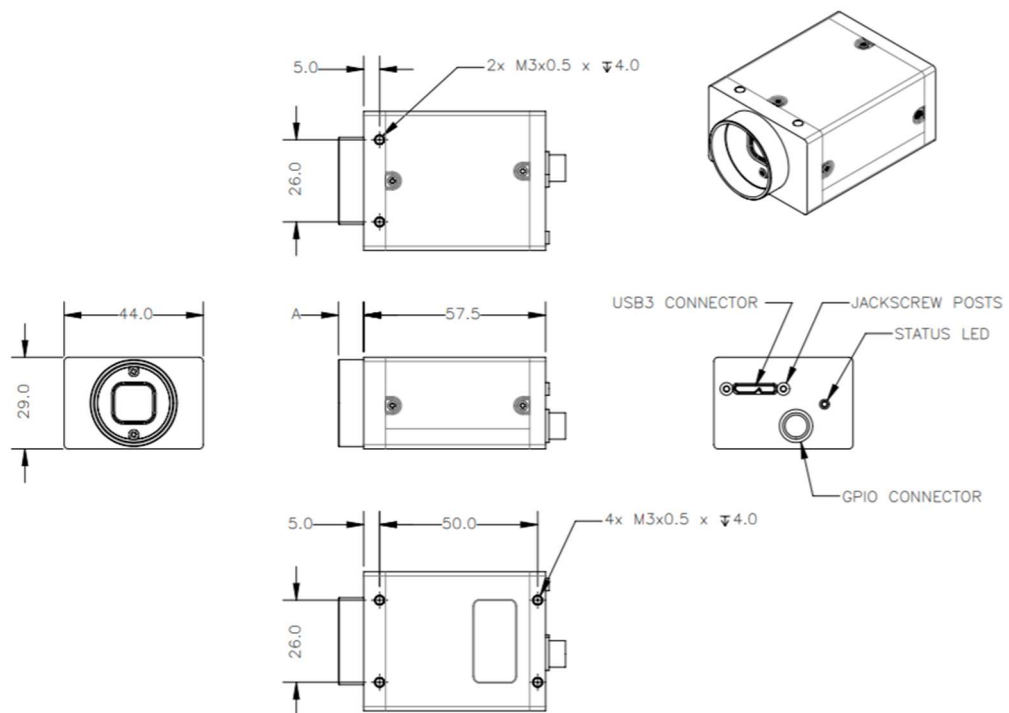


Figura 3.6 Dimensions càmera (Data Sheet del producte)

En el detall de les dimensions del producte, es pot veure com aquest disposa d'una sèrie de forats per cargol mitjançant els quals es podria collar a l'estructura del gimbal. En el procés de disseny, s'haurà

de decidir si s'utilitzen o si pel contrari es dissenya una estructura que contingui la càmera i aquesta sigui la que es fixi al gimbal amb algun altre sistema.

A cada càmera, a més a més, se li acoblarà un objectiu marca *TAMRON* model M118FM08. Aquest objectiu té un rang focal petit, de 8 mm, la qual cosa fa que les imatges que es captin tinguin un ampli camp de visió. Si pel contrari el rang focal fos més gran, es podria treballar a més distància de la canonada, però l'angle de visió seria més reduït. En l'aplicació que es realitzarà, tenint en compte que pot ser difícil a vegades controlar amb precisió el dron és interessant que l'angle de visió sigui elevat.

Objectiu i càmera són compatibles, ja que ambdós utilitzen el sistema de muntura tipus C, per tant la rosca és la mateixa. Finalment, el pes de cada objectiu serà de 44 grams. La resta de característiques es poden consultar en la fulla de característiques que s'adjunta en l'annex 2 d'aquest treball.



Figura 3.7 Objectiu M118FM08 de TAMRON (Web del fabricant)

3.4. Eina marcadora

Per tal de disparar les boles de pintura que marcaran les canonades, s'incorporarà al gimbal com a eina marcadora una imitació d'una pistola model Glock G18 Yakuza del fabricant *DELTA TACTICS*. El pes aproximat d'aquesta eina és de 630 grams.

Tal com passa amb les càmeres, s'haurà de decidir si l'eina s'acobla directament al gimbal o si se li fabrica una estructura en la que quedi continguda. En el cas de la marcadora, al tenir l'eina aspecte d'arma de foc és indispensable escollir la segona alternativa, ja que un dron amb una pistola acoblada podria causar confusió i alteració en les persones que veiessin l'aparell volant i no sabessin del què es tracta.

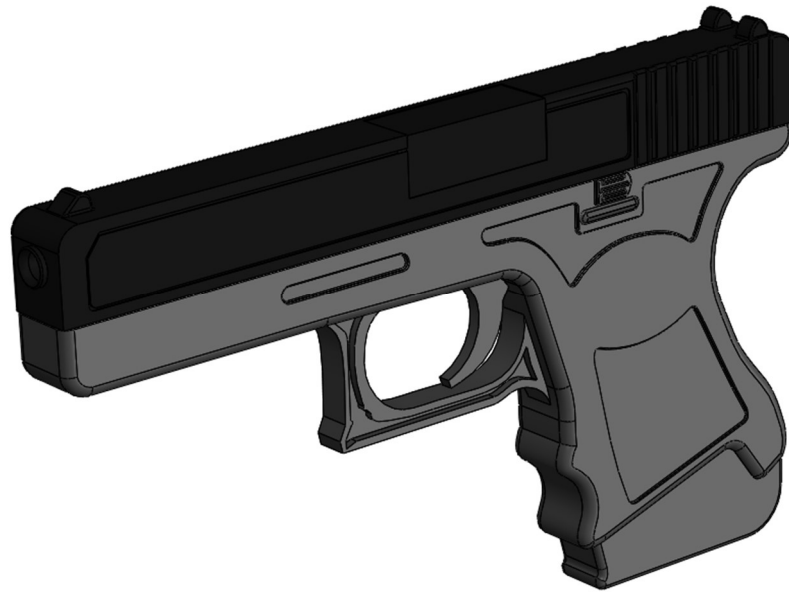


Figura 3.8 Disseny 3D de l'eina marcadora a utilitzar

3.5. Característiques gimbal a dissenyar

Tal i com s'exposa en apartats anteriors, a trets generals el gimbal a dissenyar ha de:

- Ser capaç d'acoblar-se i desacoblar-se del dron Kratos.
- Contenir dues càmeres Grasshopper GS3-U3-32S4C.
- Incorporar dos objectius Tamron model M118FM08.
- Contenir una pistola Glock G18 Yakuza de Delta Tactics.
- No sobrepassar els 1500 grams de pes (condició no indispensable).

Per aconseguir obtenir un disseny que compleixi totes aquestes característiques, s'hauran de tenir en compte més paràmetres que venen donats per aquestes.

Un factor important a tenir en compte, és que els aparells que duu acoblats han de ser alimentats i controlats, per la qual cosa s'ha de tenir en compte el cablejat necessari i s'ha de preveure per on es passarà aquest per tal que no impedeixi ni dificulti el lliure moviment tant del gimbal com del dron.

Malgrat que no s'ha de dissenyar el control del gimbal, si que s'hauran de col·locar els motors i sensors que sigui necessaris per al funcionament d'aquest, així com el cablejat dels mateixos.

En quant als moviments que ha de tenir el dron, tenint en compte l'objectiu per al qual s'ha de dissenyar, és necessari que aquest disposi de tres graus de llibertat, permetent una total operativitat

de l'aparell en tot moment. Per tant, a banda dels dos moviments bàsics dels que disposen la gran majoria de drons, també ha d'incloure el tercer que no és tant àmpliament utilitzat.

- Capcineig: Rotació respecte l'eix longitudinal del gimbal.
- Guinyada: Rotació respecte l'eix vertical.
- Balanceig: Rotació respecte un eix perpendicular al longitudinal i al vertical, i que passa pel centre de la base del gimbal.

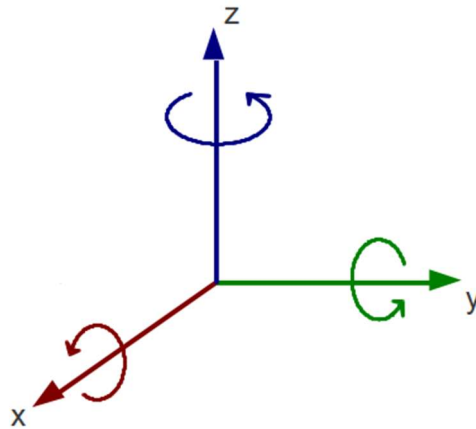


Figura 3.9 Representació eixos de gir (Google)

Durant el procés per establir el punt de partida, s'han detectat característiques de disseny interessants que s'inclouran en el disseny final. Per exemple, per tal de facilitar les feines de marcatge mitjançant la pistola, es farà que l'objectiu de les càmeres i el canó de l'eina marcadora estiguin a la mateixa alçada, de manera que l'operari del dron no tingui problemes a l'hora de col·locar l'aparell per a realitzar les tasques i no li sigui necessari fer una correcció d'alçada.

4. Procés de disseny

Per tal de facilitar el disseny del gimbal, es dividirà l'estructura en diverses parts per tal de solucionar-les una a una. Des de la part més allunyada del dron, fins a la connexió amb aquest, les parts serien:

- Base: és la part on van subjectades les càmeres i l'eina marcadora. Aquesta base rotarà al llarg del seu eix longitudinal, atorgant al gimbal el primer dels graus de llibertat.
- Recobriment eina marcadora: per tal d'evitar la imatge d'un dron volant amb una pistola acoblada, es dissenyarà un recobriment per a aquesta de manera que sigui operativa però canviant-ne l'aparença externa.
- Braços laterals: és l'estructura que subjectarà lateralment la base. Podrà rotar sobre l'eix perpendicular al seu centre, atorgant el segon dels moviments.
- Braç vertical: estructura d'unió entre els braços laterals i la connexió gimbal - dron. Gira sobre l'eix vertical per tal de donar al gimbal el darrer dels moviments.
- Unió dron – gimbal: estructura d'unió entre el dron i el gimbal.

4.1. Elecció de materials

En tot procés de disseny és indispensable analitzar els materials que s'utilitzaran en la fabricació del producte. En aquest projecte es pretén dissenyar un gimbal i fer-ne un prototip mitjançant impressió 3D, per la qual cosa els materials a utilitzar es redueixen enormement.

Si el que es pretén dissenyar en aquest projecte fos destinar a la producció en sèrie i posterior comercialització, s'hauria de valorar en profunditat tant el mètode de fabricació com el material, fent especial èmfasi en el cost del procés per tal de reduir al màxim el cost de fabricació del producte. En aquesta situació hipotètica, la impressió 3D no serviria ja que aquest mètode està destinat a la impressió de prototips, i no seria vàlid per a una fabricació en sèrie.

Per a la impressió en 3D del gimbal doncs, m'he posat en contacte amb un taller d'impressió 3D de Vilafranca del Penedès, concretament l'empresa *Čapek Maker*, en el que ens han indicat que ells recomanen realitzar els dissenys en ABS o en PLA, que són els materials més utilitzats en aquesta tecnologia.

El PLA (àcid polilàctic) és un termoplàstic biodegradable, elaborat a partir de recursos naturals com el midó de blat de moro o la canya de sucre. L'ABS (acrilonitril butadiè estirè), en canvi, és un termoplàstic derivat del petroli. Aquest darrer, no obstant, tot i provenir d'un combustible fòssil és reciclable i es pot reutilitzar.

Pel que fa a la facilitat d'impressió, tot i que el PLA presenta més beneficis en aquest sentit, no utilitzarem aquest paràmetre en la nostra decisió ja que la fabricació del prototip no anirà a càrrec nostre sinó d'un taller especialitzat en ambdós materials i no els hauria de presentar cap inconvenient fer-ne servir un o altre.

En la decisió del material a utilitzar, doncs, el que es valorarà són les propietats mecàniques del material, les quals són molt superiors en l'ABS.

ABS	PLA
Temperatura de extrusió: ~ 240 ° C	Temperatura de extrusió: ~ 200 ° C
Requiere cama caliente > 70 ° C	Poca temperatura de cama caliente
Funciona bastante bien sin refrigeración de capa.	Se beneficia enormemente de refrigeración de capa durante la impresión
Peor adherencia, se necesita cinta de poliamida o laca.	Buena adherencia a una gran variedad de superficies
Resistente a temperaturas altas	Poco resistente a temperaturas altas
Propenso a las grietas, delaminación, y deformación	Propenso a la ondulación de las equinas y salientes
Más flexible	Más frágil
Se pueden unir piezas usando adhesivos o disolventes (acetona o MEK)	Se poden unir piezas usando adhesivos específicos
Los humos son desagradables y nocivos en áreas cerradas	Humos no nocivos y olor más agradable
Plástico derivado del petróleo	Plástico de origen vegetal

Taula 4.1 Taula comparativa ABS vs PLA (Maker Shop BCN)

En l'annex 2 d'aquest treball, es pot consultar la fitxa tècnica del material utilitzat en la fabricació del filament ABS utilitzat en la impressió dels diferents components.

La connexió gimbal – dron, a banda de fer d'unió entre aquestes dues parts, també funciona com a amortidor dels moviments produïts en el vol per tal que aquests no siguin transmesos a les càmeres. Aquest amortiment es farà mitjançant gomes antivibració, les quals aniran compreses entre dues xapes d'un mil·límetre de grossor. Donat que aquestes xapes han de ser molt fines però han de sostenir el pes de tot el gimbal, no es podran fabricar mitjançant impressió 3D. Així doncs, buscant tant una fàcil

fabricació com una gran lleugeresa, s'ha decidit que el material idoni per a la realització d'aquestes peces és d'alumini 1060.

Concretament, aquestes peces es fabricaran per tall làser a l'empresa *Catà Germans, S.L.*, situada al Priorat de Banyeres.

4.2. Base

4.2.1. Requeriments i dimensions

La base forma la part central del gimbal, i fa de suport de les eines que s'hiacoblaran. Les dimensions d'aquesta venen determinades d'una banda per l'espai disponible (es pot consultar en la Figura 3.2) i de l'altra per la posició dels elements que ha de contenir, concretament les càmeres.

És important que la separació entre les càmeres sigui la correcta per tal d'obtenir la imatge desitjada, sense l'aparició d'angles morts ni de solapaments innecessaris. Aquesta configuració de càmeres situades en paral·lel s'ha utilitzat anteriorment en altres treballs, i la distància a la que s'han de col·locar m'ha estat proporcionada pel director del treball. Concretament, la separació entre les dues càmeres ha de ser de 20 centímetres (de centre a centre d'objectiu). Tenint aquest paràmetre de disseny, la posició més adequada en la que col·locar l'eina marcadora és entre les dues càmeres.

Per tal de facilitar la tasca de marcatge mitjançant l'eina marcadora a l'operari, es farà un disseny en que els objectius de les càmeres i el canó de la pistola estiguin a la mateixa alçada. Per tant, degut a la diferència de mida entre els diversos components, la base no podrà ser una plataforma plana sinó que haurà de tenir una forma irregular.

La posició ideal per a la marcadora, doncs, seria entre les dues càmeres i amb el canó a la mateixa alçada dels objectius, quedant només per definir la posició avançada o retrocedida respecte les càmeres. Per tal de tenir la millor estabilitat possible, seria interessant fer sobresortir la marcadora per la part frontal del gimbal de tal manera que acostem el centre de gravetat al que equivaldria el centre del dron. No obstant, hi haurà un límit que l'eina podrà sobresortir, ja que no ens interessa que aquesta obstaculitzi la visió de les càmeres. Per tal de trobar aquesta mida, procedirem a calcular l'angle de visió segons les característiques i posició de les càmeres i els objectius (la distància focal, la distància entre càmeres i la mida de l'objectiu) mitjançant la següent equació.

$$\alpha = 2 \cdot tg^{-1} \cdot \left(\frac{S}{2 \cdot f} \right) = 2 \cdot tg^{-1} \cdot \left(\frac{14,11}{2 \cdot 8} \right) \approx 82,82^\circ$$

Equació 4.1. Càlcul de l'angle de visió

On S és la mida del sensor en mil·límetres i f la distància focal de l'objectiu també en mil·límetres.

Calculat aquest valor i coneixent la distància entre les càmeres, per simple trigonometria podem trobar amb facilitat la distància que tenim disponible per tal que l'eina marcadora no obstaculitzi la visió de les càmeres. En aquest cas trobarem aquesta distància utilitzant l'eina de disseny 3D *Solidworks*, ja que és la que s'està utilitzant en aquest projecte.

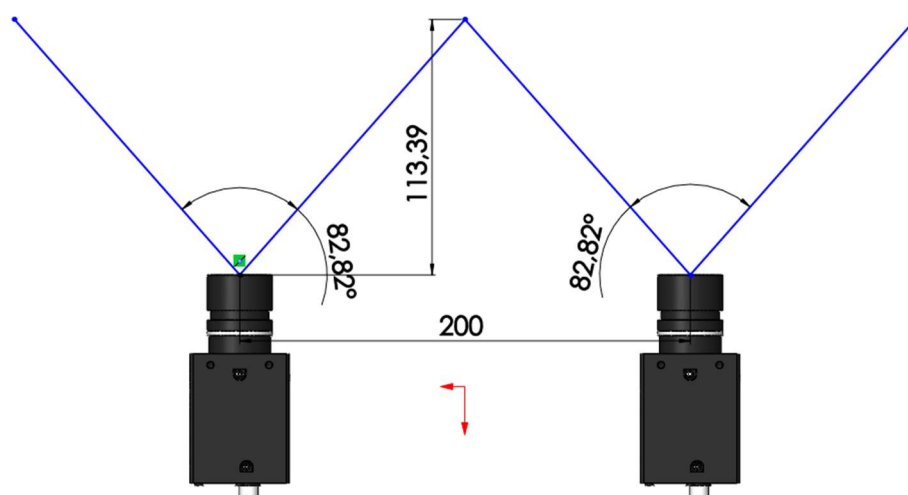


Figura 4.1. Zona disponible per a l'eina marcadora

Una vegada calculada la distància límit que podria sobresortir la càmera, utilitzant el software de disseny, decidim que la punta de l'eina sobresortirà 60mm respecte l'objectiu, mantenint-nos així dins els límits calculats i situant el centre de gravetat el més proper possible al centre de l'eix vertical del dron.

Per fer l'acoblament de les càmeres a la base, s'ha valorat la opció de fer una estructura en la que la càmera quedi fixada i que s'acobli a la base mitjançant pestanyes o algun sistema ràpid de posar i treure. No obstant, després de valorar-ho, s'ha decidit de prescindir de sistemes d'acoblament ràpid com poden ser les pestanyes per tal d'evitar que amb l'ús repetitiu aquestes es puguin trencar. Per tal d'utilitzar un mètode el més robust possible, el sistema utilitzat serà collar-ho directament mitjançant cargols. D'aquesta manera s'impedeix que hi hagi el més mínim moviment tenint un sistema també ràpid i segur. A l'hora de prendre aquesta decisió, s'ha valorat també que l'operari que utilitzarà el dron sempre portarà un kit bàsic d'eines amb ell per qualsevol problema que pugui sorgir amb l'aparell, de manera que el procés de posar i treure accessoris no li hauria de causar major problema.

La unió entre l'eina marcadora i la base, es farà també mitjançant cargols, així com la d'un petit suport que s'ha dissenyat on es col·locarà el sensor giroscopi del dron.

Per acabar, la base presenta també els forats on es collarà el motor en un dels extrems i un rebaix en l'extrem oposat en el que es col·locarà un eix de gir.

4.2.2. Resultat

Amb totes les premisses esmentades en el punt anterior, s'arriba al disseny definitiu el qual es mostra en les següents figures:

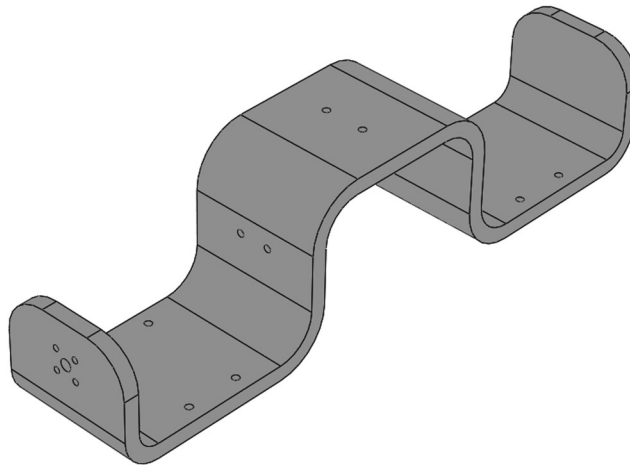


Figura 4.2 Vista isomètrica "Base"

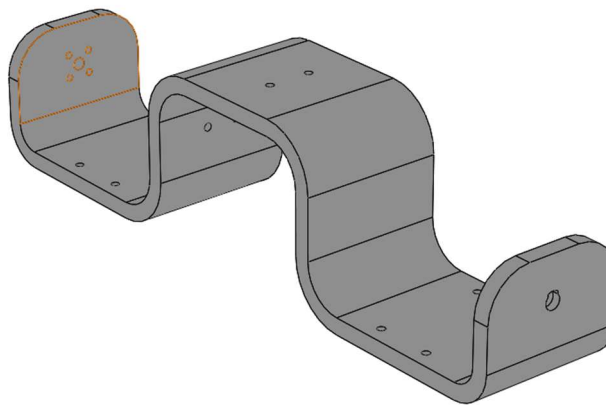


Figura 4.3 Vista alternativa "Base"

La forma en “W” escollida resol els requeriments plantejats en l'apartat anterior, posant especial èmfasi en la posició de les dues càmeres i de l'eina marcadora. Els forats que es poden observar són necessaris per a l'acoblament de les diferents parts del conjunt, tal com es veurà en futurs apartats. L'ample de la base és de 65 mil·límetres, de manera que l'espai és suficient perquè les càmeres estiguin

completament recolzades sobre la mateixa. El gruix de la peça és de 7,5 mil·límetres, i es justificarà en l'apartat de simulació.

Per tal de minimitzar els concentradors de tensió, s'han eliminat les arestes a 90 graus substituint-les per arrodoniments, per tal d'evitar al màxim l'aparició de possibles esquerdes en aquestes zones més delicades. Finalment, els arrodoniments que es poden veure en les ales laterals són purament estètiques, per tal d'ajustar més amb la forma del motor en un costat i per mantenir la simetria en l'altre.

El pes d'aquest component és de 156 grams.

4.3. Recobriments eina marcadora

4.3.1. Requeriments i dimensions

La finalitat del recobriments de l'eina marcadora, com el seu nom indica, és contenir la pistola de boles de pintura per tal de camuflar-ne l'aspecte. A banda de contenir-la, s'haurà d'ajustar al màxim per tal que aquesta quedi fixada i no es mogui amb els moviments produïts pel dron durant el vol.

A més, s'ha de preveure la sortida de cables per la base de la pistola i aquesta s'ha de poder posar i treure amb relativa facilitat. Tot el conjunt s'ha de poder acoblar i desacoblar a la seva posició al centre de la base, acció que es realitzarà mitjançant cargols.

4.3.2. Resultat

Per a realitzar la funció de recobriments de l'eina marcadora, s'ha ideat un conjunt de dues peces. La primera, contindrà la pistola i té unes pestanyes que la fixaran a la seva posició, i la segona farà de tapa i es fixarà mitjançant cargols.

Les parets s'han fet d'un gruix de 1,5 mil·límetres, excepte la zona d'acoblament amb la base, la qual requereix de major resistència i s'ha fet de 3 mil·límetres.

De la mateixa manera que en la base, s'han evitat les arestes vives, arrodonint-les sempre per tal d'evitar concentradors de tensió per on podria començar a produir una ruptura.

Els pesos d'ambdues peces són de 57 grams i 26 grams per al recobriments eina marcadora 1 i recobriments eina marcadora 2 respectivament.

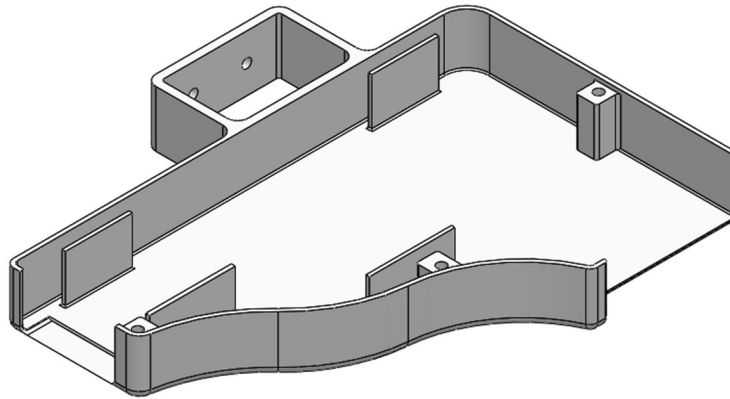


Figura 4.4 Vista isomètrica "Recobrint eina marcadora 1"

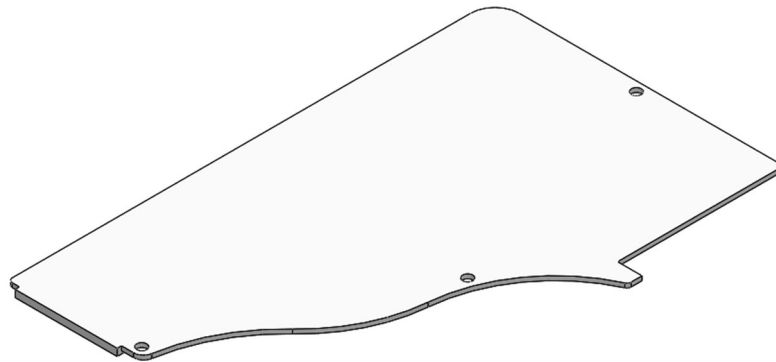


Figura 4.5 Vista isomètrica "Recobrint eina marcadora 2"

4.4. Eix

4.4.1. Requeriments i dimensions

L'eix és necessari per unir la base amb els braços, on un coixinet incrustat farà de suport en el costat oposat al motor.

4.4.2. Resultats

En un dels costats, l'eix s'introdueix fins a la meitat del gruix a la base. En aquest costat, i per tal que l'eix giri solidàriament amb aquesta, s'ha afegit un sortint que actuarà com a xaveta. En el costat del braç, l'eix estarà col·locat en un coixinet que farà de suport i que en facilitarà el gir. Pel que fa a la llargada, aquesta vindrà determinada per la distància entre la base i els braços i la distància que s'introdueix en cadascuna de les peces. La distància entre la base i els braços, ve determinada pel costat

oposat on hi ha el motor entre ambdues peces. Per mantenir la simetria, en el costat de l'eix la separació serà la mateixa.

El pes d'aquesta peça és 1 gram.

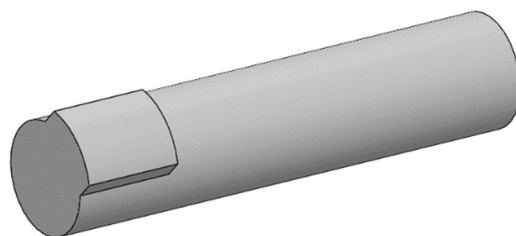


Figura 4.6 Vista isomètrica "Eix"

4.5. Suport sensor unitat de mesurament inercial (IMU)

4.5.1. Requeriments i dimensions

Per tal de regular automàticament la posició de la base, s'utilitza una unitat de mesurament inercial tal i com es detallarà en futurs apartats. Per tal de fixar aquest sensor a la seva posició, és necessari un suport per al mateix, que es collarà a la base. D'aquest sensor en sortiran un seguit de cables, per la qual cosa no pot estar totalment tancat.

4.5.2. Resultat

El component fa de base per al sensor, i té un forat passant que coincideix amb els del sensor mitjançant els quals aquest quedarà fixat. És un component molt simple, no té més funció ni requeriment que la de fer de suport. Els seu pes és 1 gram.

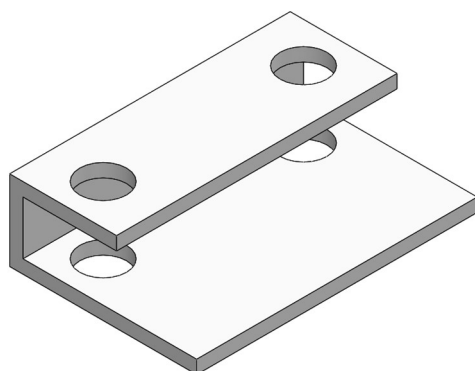


Figura 4.7 Vista isomètrica "Suport sensor IMU"

4.6. Braços

4.6.1. Requeriments i dimensions

La peça braços fa de suport de la base, subjectant-la pels dos costats. En un d'ells, un motor uneix el braç amb la base, permetent així el primer dels moviments del gimbal (de la base en aquest cas), el capcineig. El gruix d'aquest motor, és el que marcarà la distància entre ambdós components, i per tant l'amplada total dels braços. A l'altra banda, hi ha un rebaix per la part interior on es posarà un coixinet, que farà de segon suport per la base.

Al centre del component es col·locaran els forats per collar el segon motor, el qual permetrà el gir dels braços en un moviment de balanceig, obtenint així els dos graus de llibertat.

4.6.2. Resultat

L'amplada total dels braços ve definida per l'amplada de la base i el gruix del motor, essent en total de 373 mil·límetres. Pel que fa a la llargada dels braços respecte la base dels segon motor, és de 164 mil·límetres. Aquesta distància no permetrà que la base doni la volta sencera sobre el seu eix, però si que permet un gir de més de 90 graus cap avall, de manera que complementant-ho amb els altres dos graus de llibertat podríem aconseguir totes les direccions que es poguessin necessitar. El capcineig màxim possible cap amunt no és tan gran com avall, però no és necessari ja que si fos més elevat acabaríem disparant sobre el propi dron.

L'alçada de la peça s'ha fet de 45 mil·límetres per estètica, ja que és lleugerament més que el diàmetre dels motors. D'aquesta manera tota la cara del motor en contacte amb el component queda coberta. Els arrodoniments en les puntes són també per motius estètics.

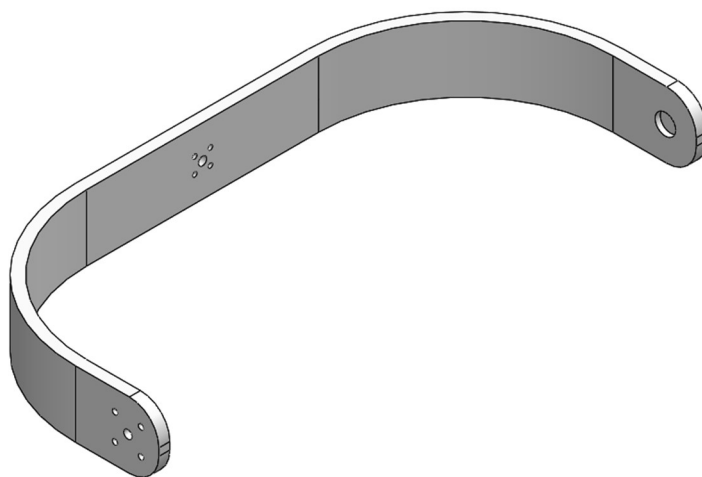


Figura 4.8 Vista isomètrica "Braços"

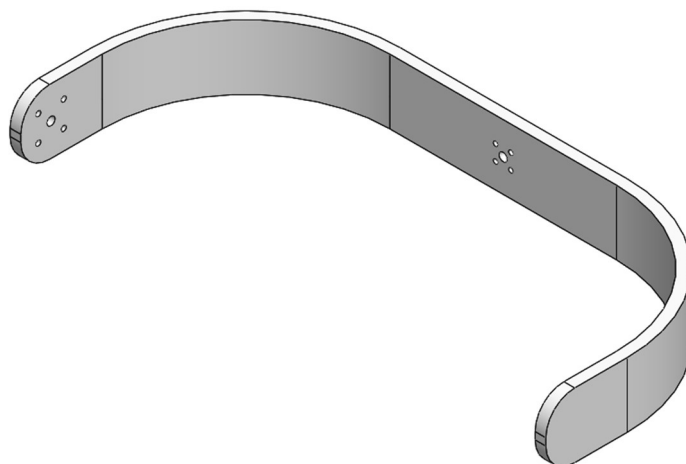


Figura 4.9 Vista alternativa "Braços"

La massa d'aquest component és de 120 grams.

4.7. Vertical

4.7.1. Requeriments i dimensions

Per acabar, el darrer component a imprimir en 3D és el suport vertical que uneix els braços amb la unió gimbal – dron. A la part inferior, s'uneix als braços amb el motor que permet el moviment de balanceig, mentre que a la part superior el motor amb el qual s'uneix a la connexió gimbal – dron és el que permet el moviment de guinyada, el tercer grau de llibertat.

4.7.2. Resultat

Aquest component segueix el mateix estil que els braços tant pel que fa a l'alçada com al gruix, per tal que el gimbal tingui una uniformitat entre els seus components. La geometria de la peça limita el moviment de balanceig, però per l'espai disponible entre les potes d'aterratge del dron no és possible fer la peça vertical d'una llargada suficient que permetés un gir de 360 graus en el segon motor.

La geometria de la peça, en canvi, sí que aconsegueix que el centre de gravetat de tot el conjunt quedi situat més o menys al centre del dron, de manera que el moment creat pel gimbal sigui el més petit possible i minimitzar les correccions que els motors del dron hauran de fer per mantenir-lo estable.

Aquest component, té una massa de 62 grams.

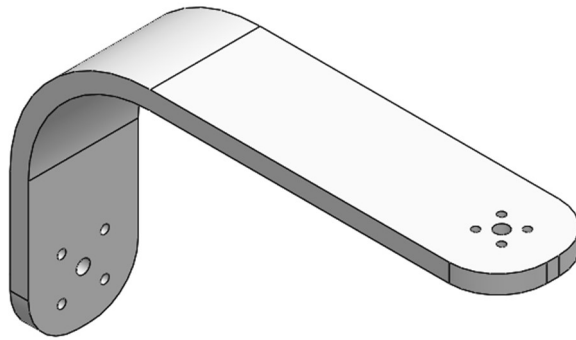


Figura 4.10 Vista isomètrica "Vertical"

4.8. Unió dron - gimbal

4.8.1. Requeriments i dimensions

La unió entre el dron i el gimbal consisteix en dues xapes d'alumini tallades a làser, unides entre si per unes gomes antivibració que atenuaran el moviment produït en el vol del dron per tal d'obtenir una major estabilitat en el gimbal. La xapa inferior s'uneix al gimbal mitjançant el motor que proporciona el tercer dels graus de llibertat al conjunt.

4.8.2. Resultat

Les dues xapes tenen un gruix d'un mil·límetre, suficient per suportar els pesos del tot el conjunt. A més, presenten els 16 forats on es col·locaran les gomes antivibració. La xapa inferior, a més, té els 4 forats on aquesta es collarà al motor. La forma de les xapes ve donada per l'espai disponible sota el dron, ja que s'ha d'evitar que les potes d'aterratge hi facin contacte.

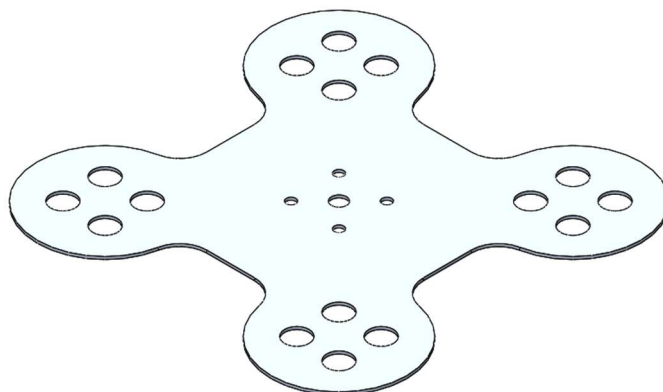


Figura 4.11 Vista isomètrica xapa alumini inferior

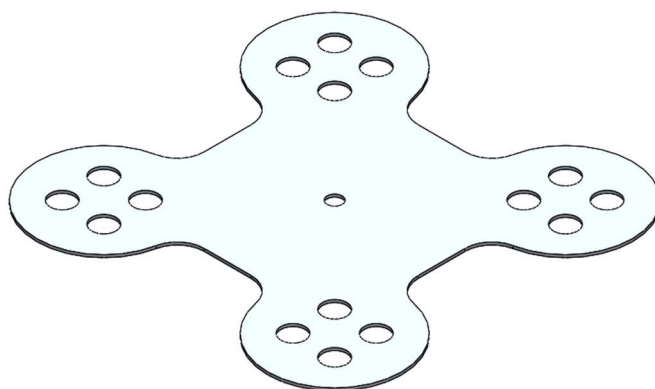


Figura 4.12 Vista isomètrica xapa alumini superior

El pes d'aquests components és de 32 grams cadascuna.

5. Selecció de components

A banda de les peces dissenyades i fabricades ja sigui per impressió 3D o per tall làser, el gimbal incorpora una sèrie de components que s'han comprat segons les característiques que requerien i els materials disponibles en el mercat. D'aquests elements es podria fer una subdivisió entre components electrònics i components mecànics, incloent els motors i sensors la primera i el coixinet, gomes antivibració i unions la segona.

5.1. Motors

El gimbal dissenyat disposa de tres graus de llibertat, per la qual cosa seran necessaris el mateix nombre de motors. Per a la selecció dels mateixos, la característica essencial que s'ha de valorar és el pes que aquests motors han de suportar i moure, doncs si no poden realitzar la seva funció correctament l'aparell perd tota la seva utilitat. En menor mesura, és important conèixer les dimensions dels motors per tal que aquesta no impliqui complicar la geometria de la resta de components a dissenyar.

Per tal de poder seleccionar correctament els motors, s'ha fet una relació dels pesos dels principals components del conjunt per tal de definir la càrrega que haurà de suportar cadascun d'ells. Per fer aquesta relació, s'ha menyspreat el pes d'alguns components menors com poden ser els cargols o el cablejat i s'han arrodonit a la unitat més propera la resta de pesos.

Component	Quantitat	Pes unitari (grams)	Pes total (grams)
Càmera	2	90	180
Objectiu	2	44	88
Eina marcadora	1	630	630
Recobriments 1	1	57	57
Recobriments 2	1	26	26
MPU6050	1	4	4
Suport sensor	1	1	1
Base	1	156	156

Eix	1	1	1
PES SUPORTAT MOTOR 1			1143
Motor 1	1	88	88
Braços	1	120	120
Coixinet	1	2	2
PES SUPORTAT MOTOR 2			1353
Motor 2	1	88	88
Vertical	1	62	62
PES SUPORTAT MOTOR 3			1503

Taula 5.1 Relació pesos a suportar pels motors

Una vegada fet l'anàlisi de les masses de tots els components necessaris, veiem que els motors han de ser capaços de suportar i moure unes masses de 1143 grams, 1353 grams i 1503 grams respectivament. Es podria fer una selecció individualitzada de cadascun dels motors, però veient que no hi ha una gran diferència entre ells, s'ha decidit fer la selecció pel major dels motors i utilitzar el mateix en els altres dos casos. D'aquesta manera aconseguim uniformitzar components i facilitem la gestió de recanvis, ja que davant una possible averia en qualsevol dels tres motors només en necessitaríem un de recanvi que ens serviria per tots.

Degut a la naturalesa de l'aplicació per a la qual es necessiten els motors, la millor selecció serà la d'un servomotor per tal de poder-lo controlar adequadament. Aquests motors, estan compostos per un motor de corrent continua, un conjunt d'engranatges, un circuit de control i un sensor de posició. Generalment tenen tres cables, el d'alimentació, el de massa i el de control. A més a més, s'ha decidit optar per un motor sense escombretes, ja que presenta majors prestacions que un tradicional motor que si que en porti. Aquests motors, al no tenir escombretes, tenen un menor desgast cosa que fa que la seva vida útil es vegi incrementada considerablement.

Per la compra dels motors, s'ha optat per una botiga especialitzada en drons anomenada *RC Innovations*. Aquesta botiga, a banda de la tenda online, disposa de botiga física tant a Barcelona com a Bilbao, on es pot trobar gran quantitat de productes relacionats amb drons. En quant als motors, en

aquesta tenda disposen de motors específics per a gimbals, els quals enlloc de tenir un eix motor estan compostos per dues carcasses que giren una respecte l'altra. Concretament, el motor escollit ha estat el GB36-1 de la marca T-Motor, el qual segons la web del fabricant està pensat per càmeres de fins a 1,5 quilograms. Tenint en compte doncs, que el pes que ha de suportar el motor amb més sol·licitació és de 1,5 quilograms, aquest motor serà suficient. A continuació s'adjunta la taula de dimensions del motor.

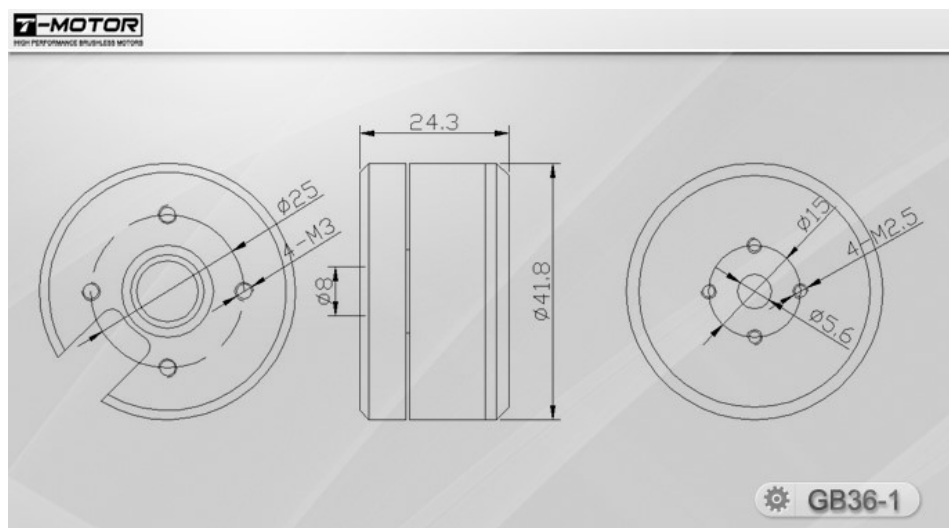


Figura 5.1 Croquis i dimensions motor GB36-1

Algunes de les característiques del motor, proporcionades pel fabricant, són les mostrades en la següent taula:

Specifications			
Test Item	GB36-1	KV	50
Motor Dimensions	ø41.8*24.3mm	Motor Weight(Incl. Cable)	88g
Cable Length	35cm	Shaft Diameter	8mm
Configuration	12N14P	Internal Resistance	15.6Ω
Motor's Torsion ((KG.CM)/V)	1.5kg/4S	Rated Voltage (Lipo)	3-6S

Taula 5.2 Taula de característiques GB36-1

5.2. Sensor de posició

Per tal de determinar en tot moment la posició en la que es troba la base del gimbal (i per tant les càmeres i la marcadora), es necessita un sensor que proporcioni aquesta informació a la placa per tal que aquesta pugui controlar els motors i corregeixi aquesta posició.

El sensor necessari per dur a terme aquesta funció és un IMU (unitat de mesurament inercial). Concretament, s'ha optat per utilitzar uns dels IMU més freqüentats en aquest tipus d'aplicacions, l'anomenat MPU-6050. Al tractar-se d'un sensor tan utilitzat, té l'avantatge que hi ha molta informació de fàcil accés la qual serà útil en un futur a l'hora de fer la programació del dispositiu.

L'MPU-6050 és un IMU de 6 graus de llibertat, ja que incorpora un acceleròmetre i un giroscopi cadascun de 3 eixos. Gràcies a les dades proporcionades per aquests dos sensors, l'IMU és capaç de calcular la seva posició i orientació.

L'acceleròmetre, com el seu nom indica, mesura l'acceleració a la que és sotmès l'artefacte. Per exemple, en posició completament horitzontal l'IMU detectaria només l'acceleració de la gravetat sobre l'eix Z. Si el sensor girés, al notar acceleració en diversos eixos, per trigonometria seria capaç de calcular la nova orientació.

El giroscopi, en canvi, el que mesura és la velocitat angular. Per tant, si l'IMU sap la seva posició angular inicial, a partir dels seus moviments podrà trobar en tot moment la nova posició angular.

Al tractar-se d'un sensor tan popular es pot trobar online en multitud de botigues d'electrònica. En aquest cas, s'ha optat per la mateixa botiga on s'han adquirit els motors per tal d'obtenir tots els components en una mateixa comanda.

Aquest sensor opera a una tensió de 3,3 volts i està preparat per funcionar amb la gran majoria de plaques que s'utilitzen habitualment en el món de l'electrònica. La fitxa tècnica d'aquest producte és de fàcil accés a través d'internet, i s'ha inclòs en l'annex 2 d'aquest treball.



Figura 5.2 Vista superior MPU-6050

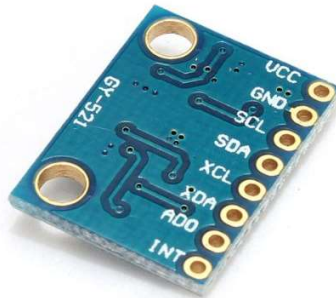


Figura 5.3 Vista inferior MPU-6050

5.3. Rodament

Per a la subjecció de la base en els braços, al costat contrari al motor es necessita un coixinet que actuï com a suport a la vegada que facilita el gir de l'eix. El coixinet ha de tenir un diàmetre interior de 7mm per tal de contenir l'eix. A més, al haver d'estar incrustat en el braç, ha de tenir un gruix inferior als 7,5 mil·límetres.

Finalment, el coixinet escollit ha estat un 618/7, les dimensions del qual són 7 mil·límetres de diàmetre interior, 14 mil·límetres de diàmetre exterior i 3,5mm de gruix. La taula de rodaments es pot consultar en l'annex 2.

5.4. Gomes antivibració

En la unió dron-gimbal, les dues xapes d'alumini estan unides entre si per gomes antivibració específiques per gimbals. Aquestes, també han estat adquirides en la web especialitzada en drons *RC Innovations*.

El nombre de gomes que s'utilitzaran, vindrà definit pel pes que aquestes hagin de suportar. En la taula següent tenim una relació dels pesos a considerar.

Component	Quantitat	Pes unitari (grams)	Pes total (grams)
PES SUPORTAT MOTOR 3			1503
Motor 3	1	88	88
Xapa alumini inf.	1	32	32
PES SUPORTAT GOMES ANTIVIBRACIÓ			1623

Taula 5.3 Relació pesos a suportar per les gomes antivibració

Així doncs, les gomes antivibració hauran de ser capaces de suportar un pes de 1623 grams. Tenint en compte que cadascuna de les gomes suporta 150 grams, es necessiten un mínim de 11 gomes. Donat que per la geometria de les xapes d'alumini es necessiten 4 grups de la mateixa quantitat de gomes per mantenir la simetria, les dues opcions possibles són utilitzar 12 o 16 gomes. Degut a que amb 12 només tindríem una goma més de les requerides, s'ha optat per utilitzar-ne 16 i millorar l'estabilitat del conjunt.



Figura 5.4 Gomes antivibració utilitzades (blau)

Detalles del producto:

Bolas de absorción de vibraciones para fotografía aérea / amortiguación Balls

Dimensión: D17 x d7 x L21mm

Peso: 2,7 g

La fijación de un diámetro de 9 mm (juego para agujeros de fijación diámetro de 9 mm)

Capacidad de carga: 150 g cada uno

Color: Azul

Se suministra una unidad.

Figura 5.5 Característiques i dimensions gomes antivibració

5.5. Cargolam utilitzat

Per unir les diverses parts del conjunt, s'ha optat per utilitzar cargolam divers degut a la seva fàcil manipulació i robustesa. La mida de la majoria dels cargols ve definida pels components que venen donats com la càmera, i d'altres pels comprats com els motors. Degut a això, els cargols que no depenen d'aquests factors s'han intentat seleccionar de mides similars per tal de poder-les manipular amb les mateixes eines. A més, s'intenten utilitzar volanderes sempre que es pugui per evitar que els cargols es clavin en el plàstic i millorar-ne les prestacions. En la següent taula, es fa una relació del cargolam utilitzat.

CONCEPTE	DIMENSIONS	QUANTITAT
UNIÓ CARCASSA PISTOLA		
Cargol DIN 933 inox	M3x25	3
Femella DIN 934 inox	M3	3
Volandera DIN 125 inox	M3	6
UNIÓ CÀMERES A BASE		
Cargol DIN 933 inox	M3x12	8

Volandera DIN 125 inox	M3	8
UNIÓ PISTOLA A BASE		
Cargol DIN 933 inox	M3x16	2
Femella DIN 934 inox	M3	2
Volandera DIN 125 inox	M3	4
UNIÓ MOTORS – GIMBAL		
Cargol DIN 933 inox	M3x12	12
Volandera DIN 125 inox	M3	12
Cargol DIN 84	M2.5x12	12
Volandera DIN 125 inox	M3	12
UNIÓ SUPORT SENSOR A BASE		
Cargol DIN 933 inox	M3x20	2
Femella DIN 934 inox	M3	2
Volandera DIN 125 inox	M3	4

Taula 5.4 Relació cargolam utilitzat

Per impossibilitat de fabricació des la base i els braços en una sola peça degut a les dimensions, aquests components s’han hagut d’imprimir dividint-los en 2. Per unir-los s’ha utilitzat el cargolam següent:

CONCEPTE	DIMENSIONS	QUANTITAT
Cargol DIN 933 inox	M5x16	6
Femella DIN 985 inox	M5	6
Volandera DIN 125 inox	M5	12

Taula 5.5 Relació cargolam utilitzat en les peces partides

6. Simulació computacional

En el procés de disseny, per tal de validar les dimensions que s'han atorgat a cada component, paral·lelament s'han realitzat anàlisis de resistència de les diferents parts segons les càrregues que han de suportar mitjançant un software d'anàlisi per elements finits, concretament el complement *Simulation* del programa *SolidWorks*.

Els anàlisis d'aquest estil no s'han realitzat sobre el conjunt complet per no complicar en excés la solució, sinó que s'ha analitzat peça per peça aplicant paràmetres de càrrega, subjecció i material que simulen la realitat. Degut a la relativa senzillesa del conjunt dissenyat, així com de les sol·licitacions del mateix, s'han donat per vàlides aquestes simulacions sense recórrer a càlculs més específics. Estem parlant d'un conjunt la massa total del qual és d'aproximadament 1,5 quilograms, per la qual cosa serà més que suficient.

Al tractar-se d'un disseny no massa complicat, sense grans sol·licitacions ni cost que pugui requerir una optimització extrema en les dimensions dels components, per al disseny no només s'han tingut en compte els requeriments físics sinó també els estètics. Això es pot veure per exemple en les peces base, braços i vertical, doncs se'ls ha donat més gruix del necessari per tal de millorar l'estètica del conjunt al veure's més resistent a simple vista.

Els components comprats no s'han simulat ja que s'han seleccionat segons els requeriments que es necessita que compleixin, per tant els anàlisis només s'han realitzat sobre les peces dissenyades i fabricades en exclusiva per aquest projecte, tant les impreses en 3D com les d'alumini, a excepció del suport del sensor, ja que no té cap tipus de requeriment mecànic.

6.1. Propietats materials

Com s'ha indicat anteriorment, s'ha realitzat la simulació computacional sobre les peces fabricades per impressió 3D en ABS i sobre les peces tallades a làser en alumini. Per a la realització dels estudis mitjançant el software d'elements finits, és necessari configurar correctament les propietats del material del que estan fetes les diferents peces.

Pel que fa a les peces base, recobriment eina marcadora, eix, braços i vertical, el material és plàstic ABS. El taller d'impressió ha facilitat la fitxa tècnica del material proporcionada pel fabricant del mateix, tot i que aquesta no és del tot completa. Per aconseguir la resta de propietats necessàries pel a l'anàlisi, s'ha recorregut a una cerca online, gràcies a la gran quantitat d'informació disponible sobre aquest material degut al boom que ha patit la impressió 3D en els darrers anys. Així doncs, els paràmetres utilitzats en l'anàlisi han estat els mostrats en la taula següent.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2410	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.3897	N/D
Módulo cortante	862.2	N/mm ²
Densidad de masa	1070	kg/m ³
Límite de tracción	40	N/mm ²
Límite de compresión	40	N/mm ²
Límite elástico	30	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2618	W/(m·K)

Figura 6.1 Propietats plàstic ABS

Pel que fa a les xapes d'alumini que formen la unió dron-gimbal l'alumini utilitzat és l'aliatge 1050, el qual és molt utilitzat en aplicacions generals de xapes metàl·liques que exigeixen una resistència moderada. A continuació es mostren les propietats del material utilitzades en l'anàlisi.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	27000	N/mm ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	68.9356	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	27.5742	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-005	/K
Conductividad térmica	200	W/(m·K)

Figura 6.2 Propietats alumini 1050

6.2. Base

Per a l'anàlisi de la base, s'ha generat una subjecció fixa als forats del motor i una de rodament en la zona on es posarà el coixinet. Pel que fa a les càrregues que ha de suportar la peça, s'han tingut en compte els pesos de les càmeres, objectius, eina marcadora i el recobriment de l'eina marcadora, aplicades als forats on aniran collats. Les diverses masses es poden consultar en la Taula 5.1 Relació pesos a suportar pels motors En quant al mallat, s'utilitza la mida de malla per defecte que proposa *SolidWorks*. Els resultats són els següents.

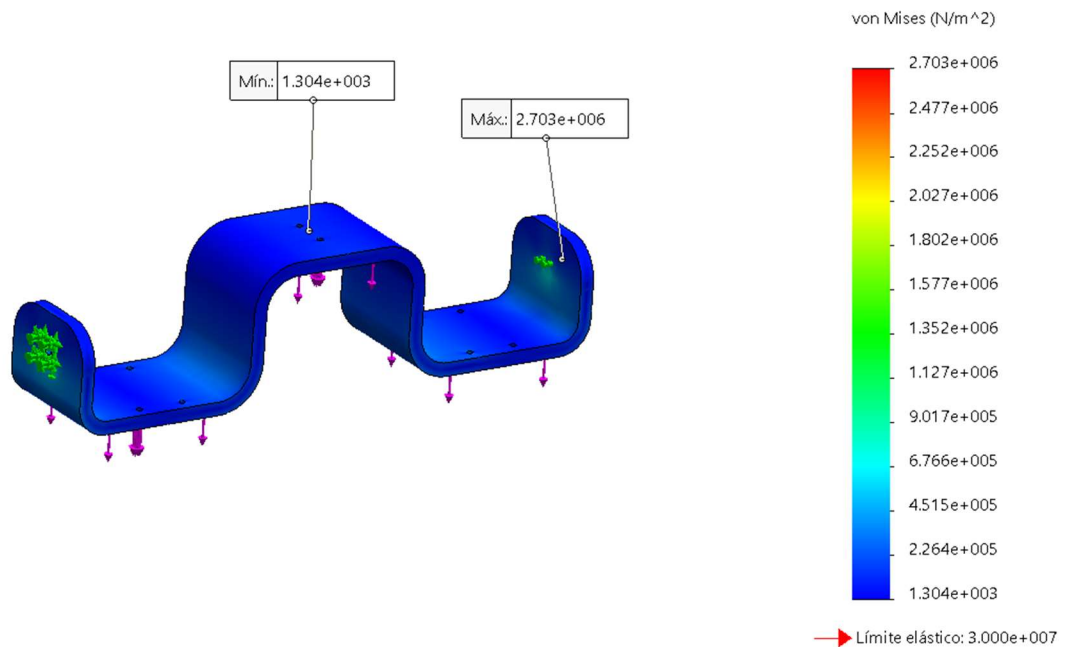


Figura 6.3 Anàlisi estàtic "Base"

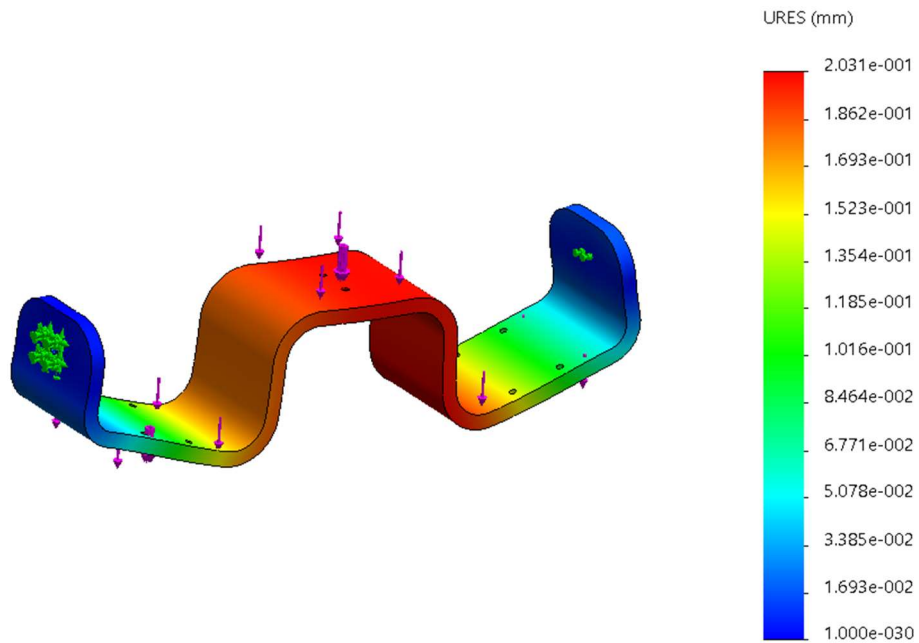


Figura 6.4 Anàlisi deformació "Base"

Observant els resultats de l'anàlisi estàtic, es pot veure com les zones de màxima sol·licitació són els dos suports, tant en el costat de l'eix com en el del motor. Tot i així, el valor de tensió en aquestes zones és molt inferior al límit elàstic del material. Observant l'anàlisi de deformacions, com era esperable, veiem que la zona de màxima deformació és la part central de la base, on es concentra el

major pes (el de l'eina marcadora) i la zona que està a més distància dels suports. En la imatge, la deformació està exagerada per tal de fer-la més fàcil d'interpretar, però realment és de l'ordre de les dècimes de mil·límetre.

6.3. Recobrint eina marcadora

El recobrint de l'eina marcadora ha de suportar el pes de la pistola, i té una subjecció fixa en la zona per on va collada a la base. En aquest cas, només s'ha analitzat la part principal del recobrint, ja que l'altra part només exerceix de tapa.

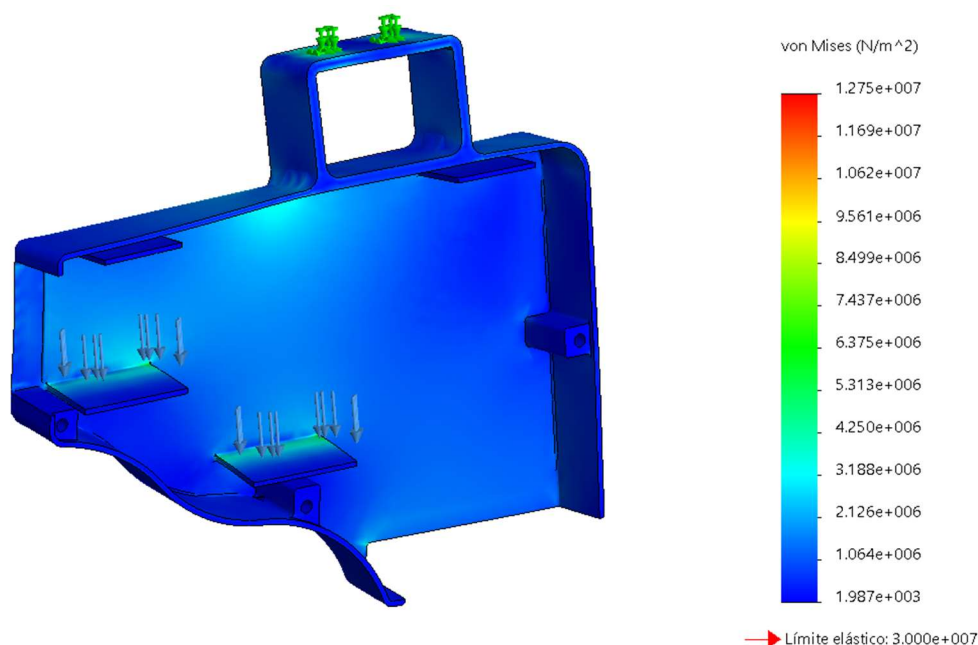


Figura 6.5 Anàlisi estàtic "Recobrint eina marcadora"

Observant l'anàlisi estàtic, es veu com les zones de màxima sol·licitació són d'una banda la zona per on es colla a la base i les pestanyes que fan de suport de la pistola.

6.4. Eix

L'eix va col·locat en un dels extrems al coixinet, mentre que per l'altre suporta el pes de la base i els seus components.

Observant els diferents anàlisis es pot veure com les sol·licitacions mecàniques queden lluny del límit elàstic del material, i la deformació que pateix l'eix degut al pes de la base és de l'ordre de les dècimes de mil·límetre.

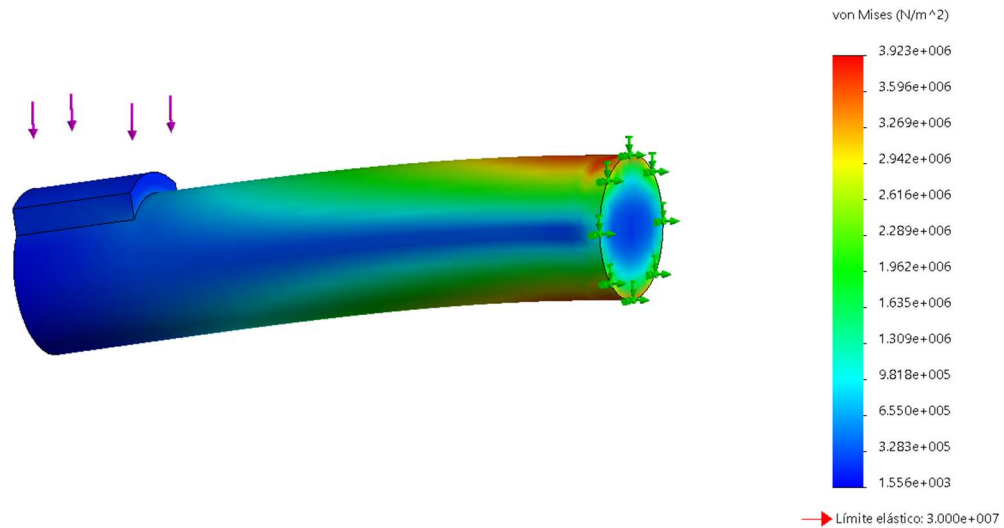


Figura 6.6 Anàlisi estàtic "Eix"

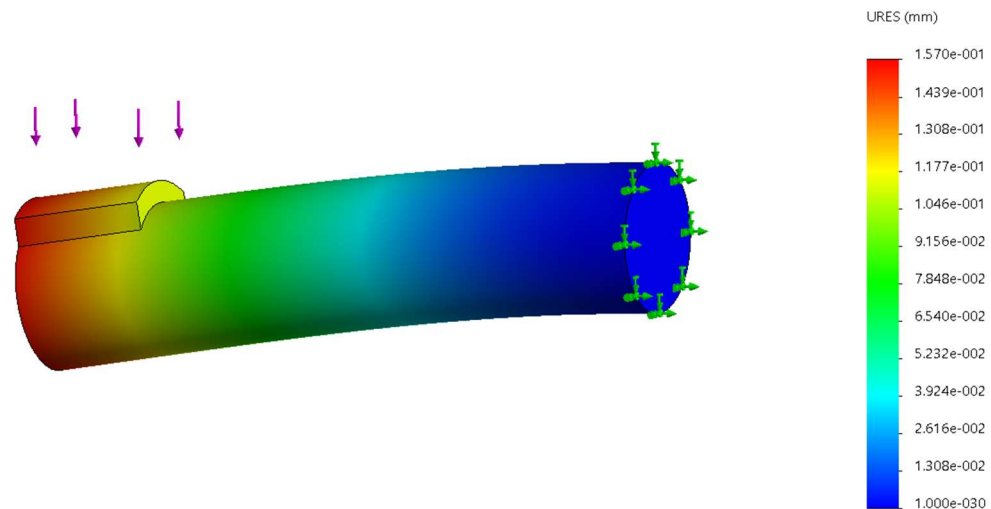


Figura 6.7 Anàlisi deformació "Eix"

6.5. Braços

Els braços han de suportar el pes de la base i tots els seus components, un motor, l'eix i el coixinet. La subjecció s'ha posat en els forats per on la peça es colla al segon motor.

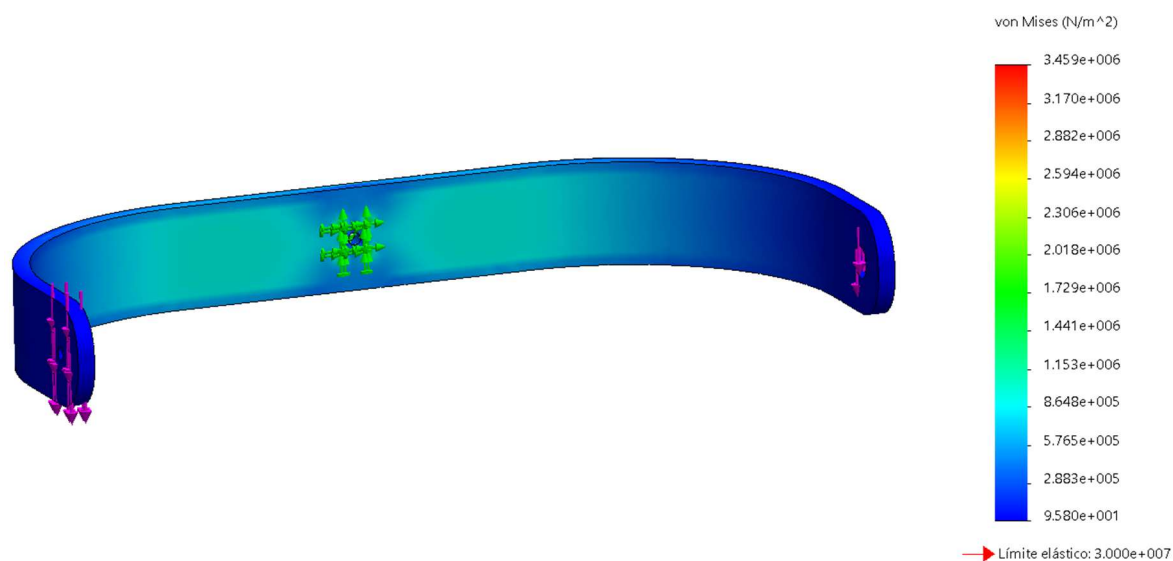


Figura 6.8 Anàlisi estàtic "Braços"

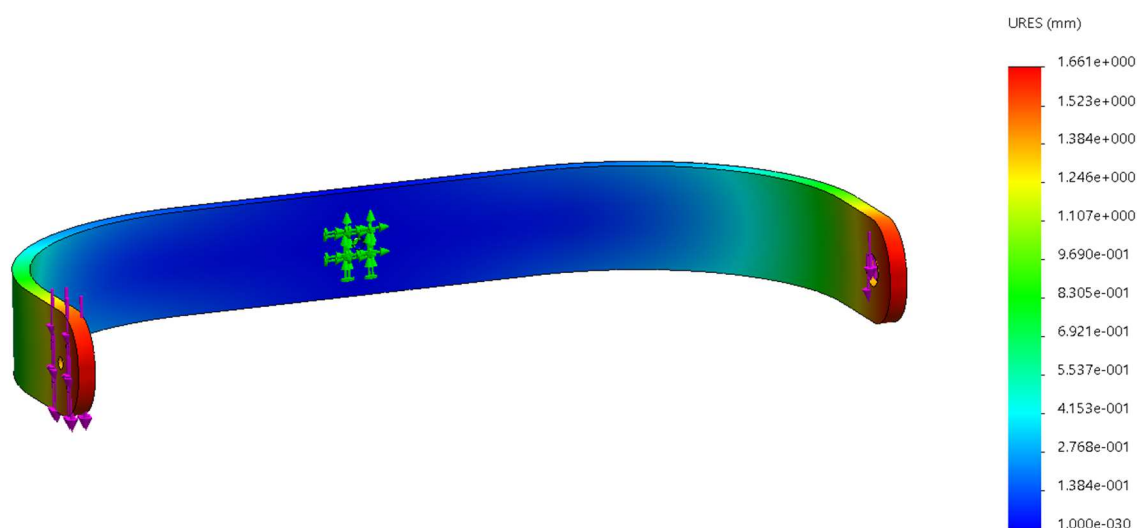


Figura 6.9 Anàlisi deformació "Braços"

Degut a la geometria de la peça, és clar que la zona amb màxima deformació seran les puntes dels braços, en la zona on es suporta la base i tots els seus components. La zona de màxima tensió, és en les zones properes a la fixació al motor 2, degut a que és la zona més allunyada del pes suportat de manera que el moment causat en aquesta zona serà màxim.

6.6. Vertical

La peça vertical, per la seva col·locació és, de les peces impreses en 3D, la que pateix una major sol·licitació, i com es pot observar en la següent figura, compleix amb els requeriments necessaris. La subjecció es col·loca en la zona on es collarà el tercer motor, i el pes de la resta del gimbal es col·locarà en el costat contrari, en la zona del motor 2.

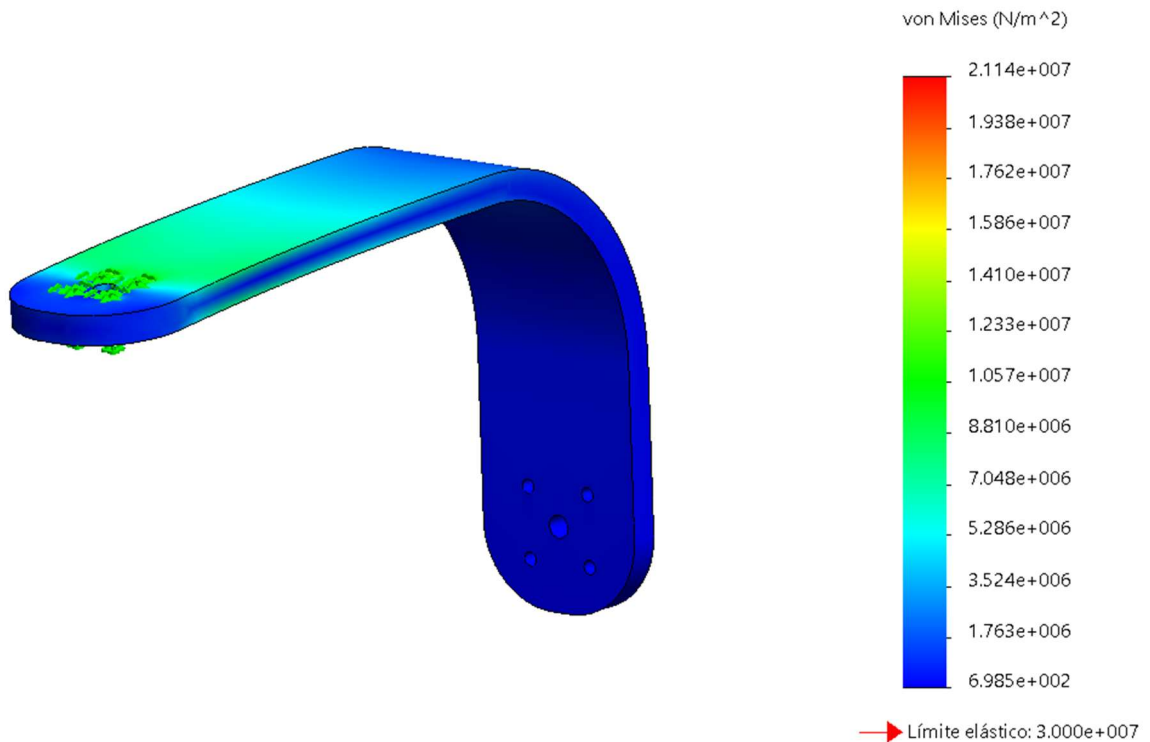


Figura 6.10 Anàlisi estàtic "Vertical"

6.7. Xapa alumini inferior

La xapa alumini inferior va collada en la part central al tercer dels motors. En aquests forats és on s'aplica el pes de la resta de components, mentre que la subjecció es fa en els 16 forats on aniran les gomes antivibració.

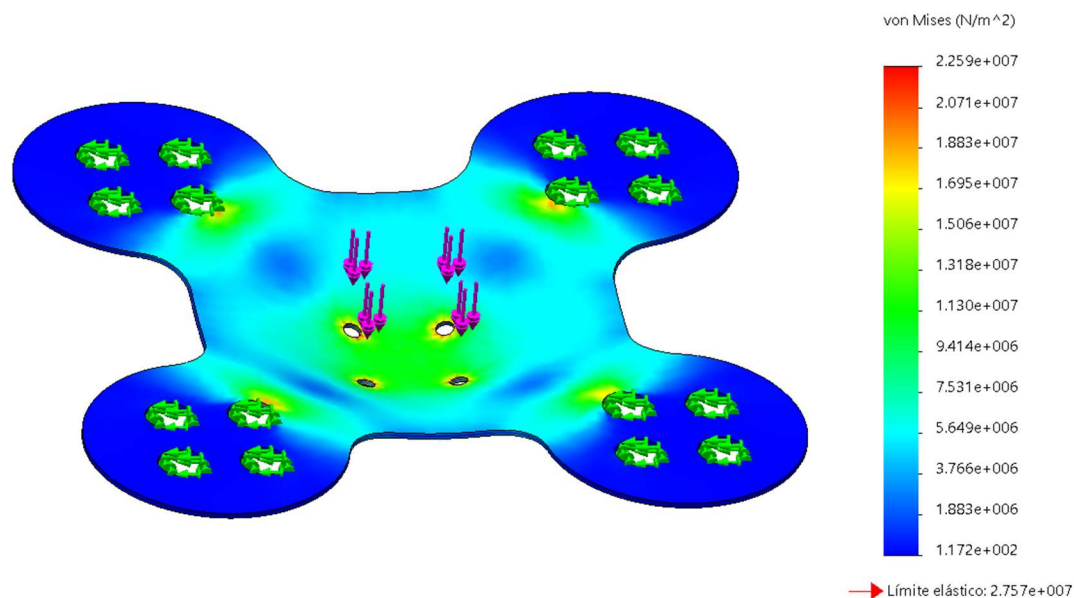


Figura 6.11 Anàlisi estàtic "Xapa alumini inferior"

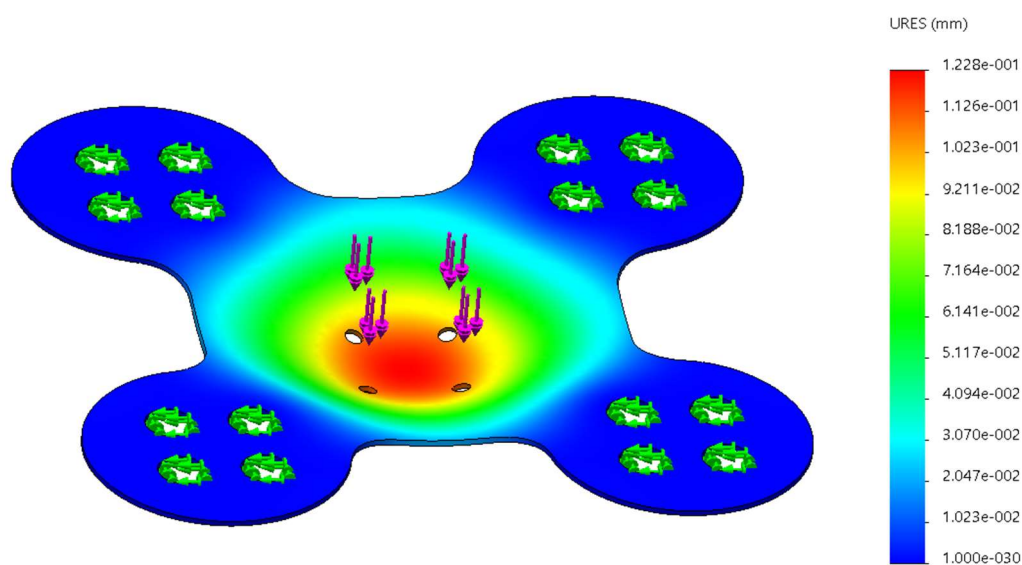


Figura 6.12 Anàlisi deformació "Xapa alumini inferior"

Observant l'anàlisi estàtic, la zona de major sol·licitació és a la zona central on es suporta tot el pes del gimbal. El programa presenta zones de color vermell que, a priori, es troben prop del límit elàstic del material. Aquestes zones vermelles apareixen per com s'aplica el pes als forats, però com es pot veure en tota la zona del voltant que pateix molta menor sol·licitació, la peça aguanta sobradament. La deformació màxima és de l'ordre de les dècimes de mil·límetre.

6.8. Xapa alumini superior

Al contrari que en la xapa inferior, el pes en aquest cas s'aplica en els 16 forats de les gomes antivibració. La subjecció, al no estar mecanitzada la peça tal i com s'ha comentat en apartats anteriors, s'ha fet a la cara superior de la xapa.

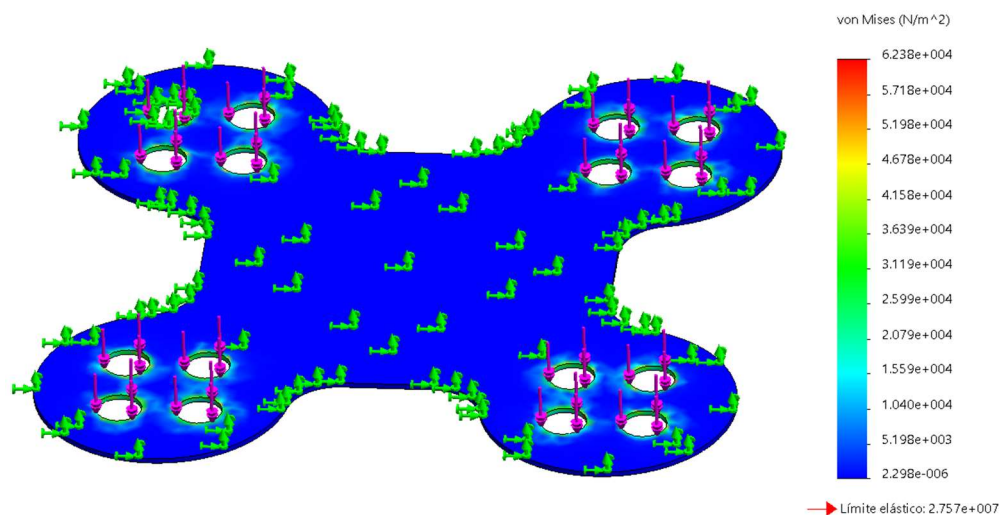


Figura 6.13 Anàlisi estàtic "Xapa alumini superior"

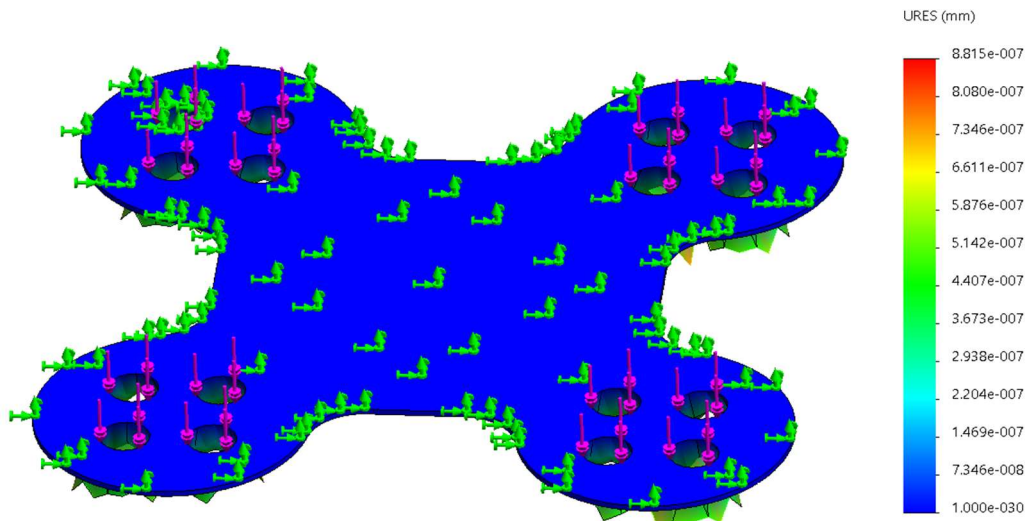


Figura 6.14 Anàlisi de deformació "Xapa alumini superior"

7. Model 3D

Una vegada dissenyats tots els components necessaris i adquirits la resta, és possible realitzar un model 3D de tot el conjunt abans de fer el prototip per tal de detectar possibles errors de disseny o en les dimensions tal i com es mostra en la figura següent. Malgrat que en el prototip les peces impreses en 3D es faran en negre, en el model 3D es representen en un color més clar per tal de diferenciar-les clarament de la resta de components.

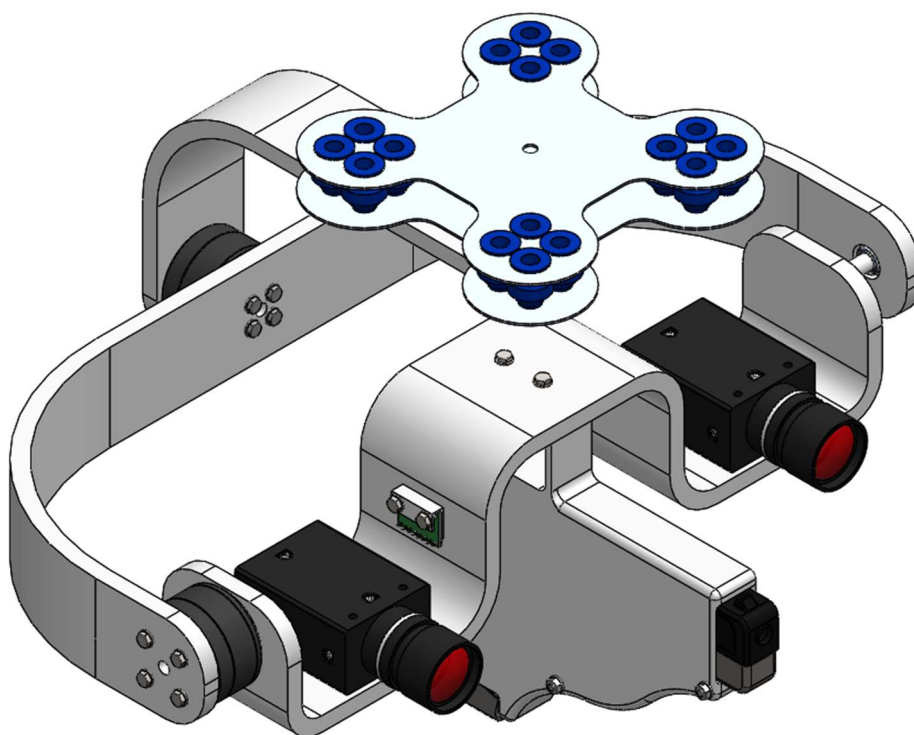


Figura 7.1 Vista isomètrica del gimbal complert

Com s'ha comentat en l'apartat de disseny, una de les limitacions a l'hora de dissenyar els diferents components és el moviment que es permet fer a les peces. El primer dels moviments, el capcineig, no té més limitació que evitar que la pistola dispari sobre el propi dron, doncs la base pot rotar sobre el seu eix longitudinal juntament amb tots els seus components sense interferir amb cap altra zona del gimbal. Només podria arribar a tocar en girar cap amunt, però com s'acaba de comentar, prèviament s'hauria de limitar el moviment o acabaria disparant sobre si mateix. Com es pot veure en les següents imatges, la pistola pot superar els 90º de gir cap avall, de manera que combinant-ho amb la resta de moviments ens dona una llibertat pràcticament total per apuntar en qualsevol direcció.

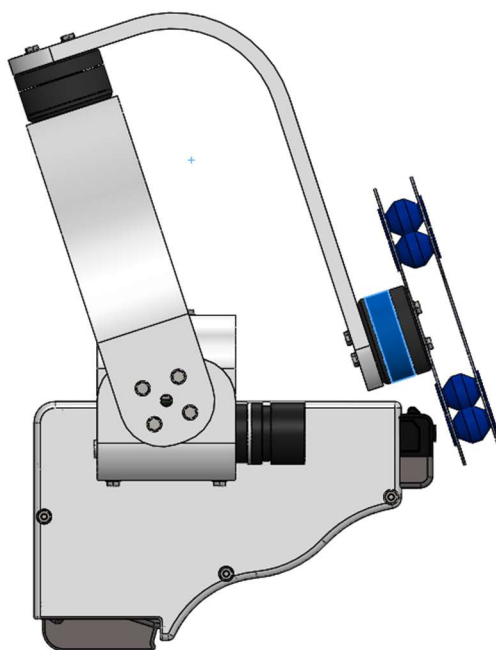


Figura 7.2 Límit de moviment de capcineig en rotar amunt la base

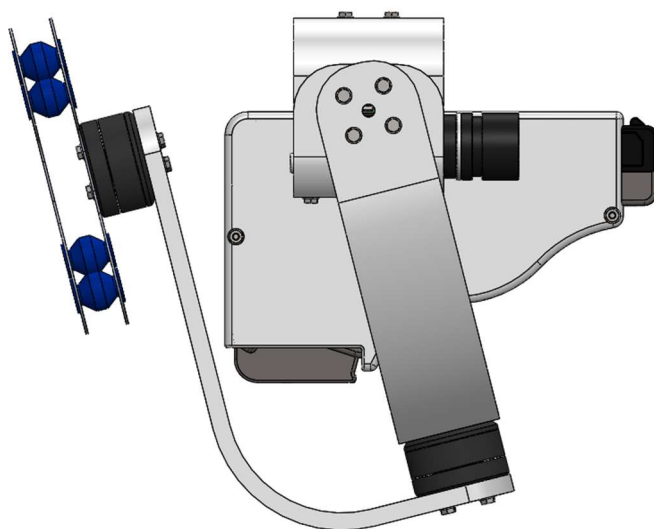


Figura 7.3 Límit del moviment de capcineig en rotar avall la base

Pel que fa al segon moviment, el balanceig, tal i com es va comentar en l'apartat de disseny, s'ha hagut de limitar degut a l'espai disponible en la part inferior del dron. Per aconseguir un gir de 360º en aquest grau de llibertat, la peça vertical hauria hagut de ser més llarga, fent així que el dron no pogués aterrar

sense que el gimbal toqués a terra. El límit de balanceig es troba aproximadament quan entre els braços i la vertical hi ha un angle de 40° segons es mostra en la imatge següent.

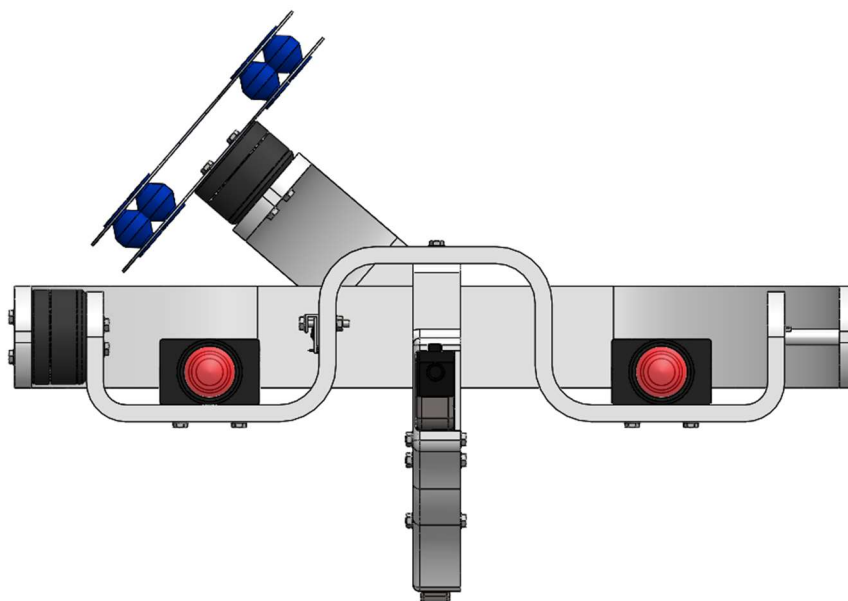


Figura 7.4 Límit del moviment de balanceig

Pel que fa al tercer dels graus de llibertat, el de guinyada, el gimbal no presenta limitació i pot rotar 360° sobre el seu eix.

A continuació, es mostren imatges del conjunt format per gimbal i el dron Kratos. Com s'ha comentat en apartats anteriors, no s'ha fet la mecanització d'unió entre ambdós ja que el dron no la té feta, per tant la separació entre els dos elements s'ha considerat els 5 mil·límetres que es comenten en el capítol 3.2 d'aquest treball, suficients per salvar el controlat del tren d'aterratge que està situat en aquella zona.

El moment més crític (on menys espai disponible hi ha) es dona quan el dron es troba a terra amb el tren d'aterratge desplegat. Tot i així, el gimbal i les potes no fan interferència en cap moment i el moviment de guinyada que s'ha comentat es podria realitzar sense problemes. No obstant, en volar el tren d'aterratge es plega, de manera que encara tindríem més espai disponible. En les següents imatges es pot veure com amb el dron a terra el gimbal no tocava ni a la superfície ni en cap part de l'aparell. També es pot veure un detall de la unió gimbal – dron des de sota, on es pot observar com el moviment de plegat i desplegat del tren d'aterratge no interfereix amb la unió entre ambdós aparells.

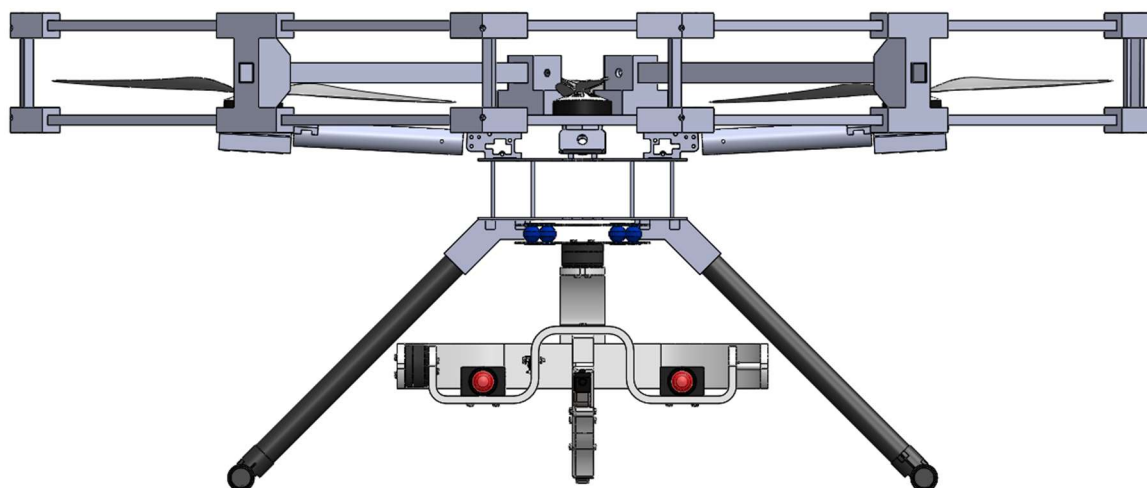


Figura 7.6 Vista frontal del conjunt dron - gimbal

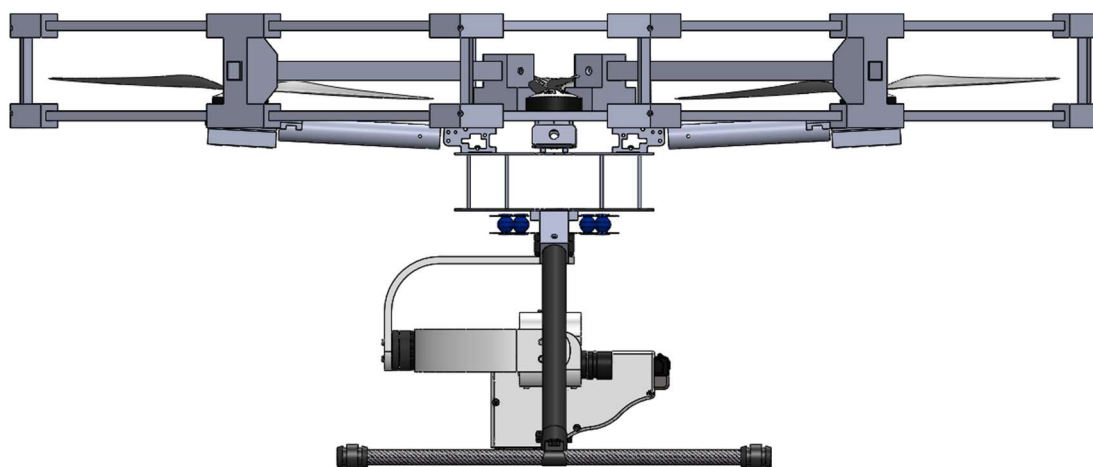


Figura 7.5 Vista lateral del conjunt dron - gimbal

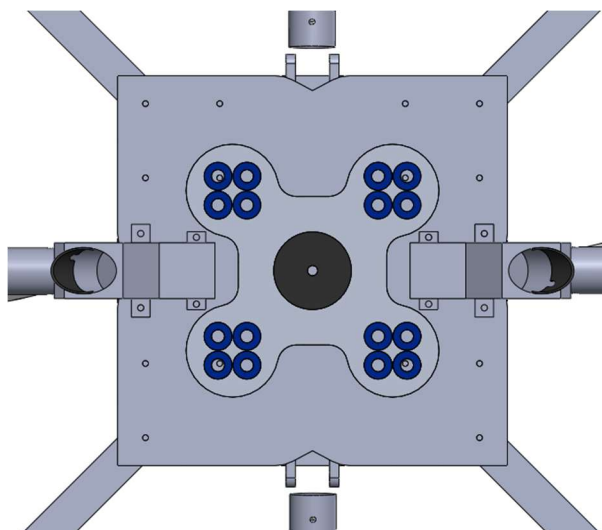


Figura 7.7 Vista inferior detall del conjunt dron - gimbal

8. Prototipatge

8.1. Fabricació de components

La impressió en 3D dels components dissenyats en l'elaboració del gimbal ha corregut a càrrec de l'empresa *Čapek Maker* de Vilafranca del Penedès, concretament s'ha utilitzat una impressora BCN3D Sigma. La limitació de dimensions a l'hora d'imprimir amb aquest model en concret, ha fet que les peces base i braços s'hagin imprès en dues parts que s'uniran mitjançant cargols.



Figura 8.1 Impressora BCN3D Sigma (*Čapek Maker*)

En quant als paràmetres d'impressió, s'ha utilitzat una alçada de capa de 0,2 mil·límetres i una densitat de malla interior del 25%, la qual és més alta de l'habitual per millorar-ne les prestacions (habitualment sol estar entre el 15% i el 20 %). Per millorar encara més el resultat, les parets d'embolcall s'han fet de 1,2 mil·límetres enlloc dels 0,8 mil·límetres habituals.

Pel que fa a la fabricació de les xapes d'alumini de la unió gimbal – dron, s'han fabricat a l'empresa *Catà Germans, S.L.*, situada a El Priorat de Banyeres. Aquesta empresa de fabricació de components per la indústria disposa de màquines de tall làser de fins a 15 mil·límetres de gruix en alumini, per la qual cosa els components encomanats no els han suposat el menor problema.

8.2. Muntatge

El primer pas en el muntatge del gimbal, serà la unió de les peces que s'han hagut d'imprimir en dues parts, la base i els braços. Es fan servir femelles autoblocants ja que aquesta unió no s'haurà de desfer mai.



Figura 8.2 Base



Figura 8.3 Braços

Aquestes dues peces conformen el cos principal del gimbal, per la qual cosa és essencial comprovar que el conjunt queda correctament unit. S'haurà de collar fins que les dues parts del component quedin completament unides i sense moviment entre si, però sempre tenint en compte que s'està treballant en plàstic i, tot i utilitzar volanderes, un excés de par faria que aquestes s'incrustessin en el component.

A continuació s'introdueix l'eix en el rebaix fet per a tal efecte en la base, i es col·loca el coixinet en la seva posició en els braços. Finalment, el costat lliure de l'eix s'introdueix al coixinet. Per a fer aquestes unions, es possible que sigui necessari llimar lleugerament les peces impreses en 3D degut a l'excés de material que pot haver quedat en aquestes zones. Per incrustar el rodament és recomanable ajudar-se d'una petita massa de plàstic.



Figura 8.4 Detall unió base - braços

Tot seguit, s'uneixen base i braços a l'altre extrem situant el primer dels motors entre ambdues peces, i collant-lo amb els cargols adients. El resultat és el mostrat en la imatge següent:



Figura 8.5 Conjunt base - braços

A continuació s'afegeix al conjunt la peça vertical utilitzant el segon dels motors tal i com es mostra en la següent figura:



Figura 8.6 Detall unió braços amb vertical

El següent pas serà col·locar les gomes antivibració a la xapa alumini inferior. Una vegada fet aquest pas, s'incorpora a aquest conjunt el tercer dels motors ja que fer-ho en un altre ordre complicaria molt la operació.

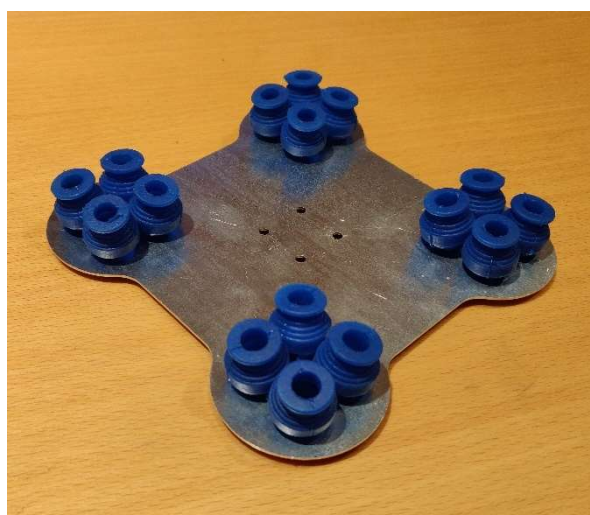


Figura 8.7 Xapa alumini inferior amb gomes antivibració col·locades

Posteriorment es colla el costat lliure del tercer motor a la vertical. Fent-ho en aquest ordre no presenta major dificultat. Per acabar aquesta part, es col·loca la xapa d'alumini superior aprofitant l'elasticitat de les gomes antivibració, quedant el conjunt de la següent manera:

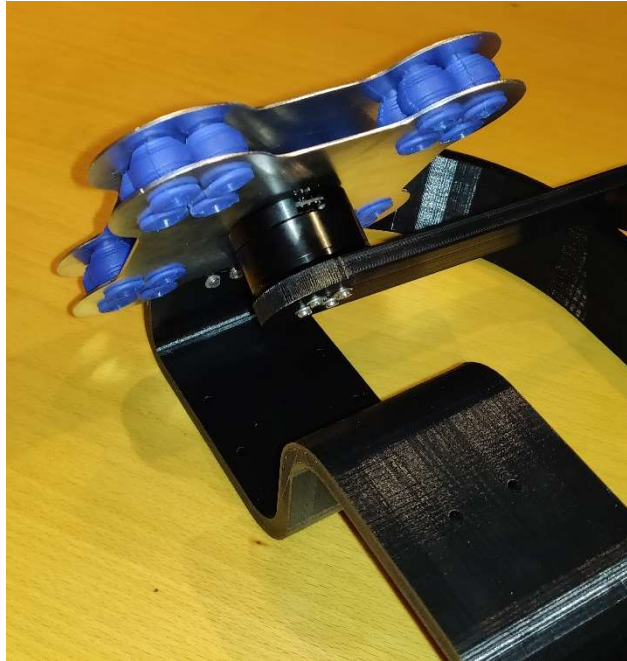


Figura 8.8 Detall unió dron - gimbal

Una vegada completat el cos principal del gimbal, només restarà acoblar-hi el sensor MPU-6050 mitjançant el suport dissenyat a tal efecte i el recobriment de l'eina marcadora.



Figura 8.9 Detall sensor col·locat a la seva posició



Figura 8.10 Recobriment eina marcadora amb la tapa col·locada

Una vegada s'afegeix el recobriment de la pistola al cos principal del gimbal, es podria donar el prototip per acabat.



Figura 8.11 Prototip complet gimbal

8.3. Tasques pendents

Una vegada arribat aquest punt, es disposa d'un gimbal mecànicament funcional, que a la vegada incorpora tota una sèrie de components electrònics que seran necessaris per al funcionament de l'aparell.

Per a un hipotètic futur treball, queda pendent doncs dissenyar un control utilitzant els components donats que realitzi l'estabilització del gimbal, utilitzant les mesures del sensor MPU-6050 i controlant els diferents motors per mantenir l'estabilitat desitjada.

Pel que fa al sensor inercial, se li hauran de soldar les potes que es proporcionen en aquest treball (no s'ha realitzat per no influir en la manera com els cables es conduiran cap a la placa de control. Els motors també es proporcionen amb uns centímetres de cable, però el camí que es farà seguir el determinaran en un futur una vegada coneguda la posició del dron en la que anirà col·locada la placa de control. Per la geometria proposada, aquests cables s'hauran de posar mitjançant brides que els mantinguin fixats a l'estructura, sempre deixant un cert marge on sigui necessari per tal de no interferir en els moviments del conjunt.

Per acabar, faltaria mecanitzar la xapa d'alumini superior en concordança amb el dron, per tal de fer la unió final entre ambdós dispositius. La xapa en qüestió presenta suficient espai en la seva part central per ser mecanitzada i que es puguin unit ambdós aparells sense interferir amb el dispositiu de control del tren d'aterratge.

9. Anàlisi de l'impacte ambiental

L'objectiu d'aquest projecte és millorar de manera substancial el procés d'identificació i manteniment de canonades en la indústria. Com s'ha explicat en apartats anteriors, alguns dels sectors en els que aquesta aplicació podria gaudir d'una gran importància són el químic i el petrolífer. En aquests sectors, l'ús de matèries tòxiques i contaminants per al medi ambient, fa que les tasques de manteniment cobrin una vital importància, degut al perill que poden presentar tant per a l'ésser humà com per la natura. És per això que una bona metodologia en el procés d'inspecció pot suposar la diferència entre un correcte i un mal manteniment, reduint així les possibilitats d'una contaminació accidental. En aquest sentit, podríem afirmar que el projecte presenta un impacte ambiental positiu.

Pel que fa al disseny realitzat en si, l'accionament és mitjançant energia elèctrica provinent de les bateries que incorpora el dron, la qual no és contaminant. No obstant, s'ha de tenir en compte que les bateries de liti que utilitza el dron si que podrien arribar a ser contaminants en cas que no es reciclessin de forma adequada. Afortunadament, la conscienciació respecte el reciclatge de bateries està augmentant de forma exponencial en els darrers anys, degut a la implementació cada vegada major de tota mena de dispositius elèctrics, des d'aquells de petit consum fins a cotxes o motocicletes accionades per aquest mitjà.

Per analitzar l'impacte ambiental produït en la fabricació del gimbal, es podia fer una distinció entre els components impresos en 3D, tallat a làser i adquirits directament a fabricant. Pel que fa al plàstic ABS utilitzat en la impressió dels components, es tracta d'un plàstic reciclable. Es podria pensar que l'altra alternativa valorada, el PLA, seria més ecològic, però tot i ser biodegradable no es pot reciclar.

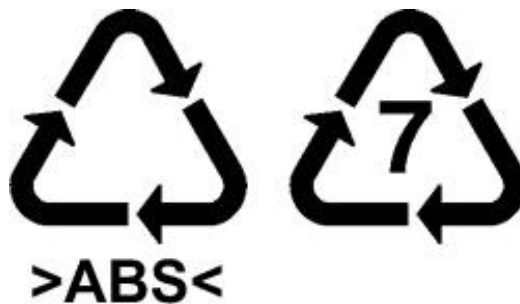


Figura 9.1 Símbol de l'ABS reciclable

D'altra banda, l'alumini utilitzat en les xapes de la unió dron – gimbal també és reciclable, resultant molt més barat i gastant menys energia que la obtenció d'alumini nou.



Figura 9.2 Símbol de l'alumini reciclable

Pel que fa a la resta de components utilitzats en la fabricació del gimbal, en cas de necessitar ser substituïts s'haurà de vetllar per la seva correcta eliminació. Una bona gestió de residus és essencial per tal de reduir l'impacte ambiental que generem dia a dia, no només en processos industrials sinó en qualsevol aspecte de la vida diària.

En definitiva doncs, podem concloure que el disseny s'ha realitzat buscant en tot moment el màxim reaprofitament dels materials, apostant per aquells que es puguin reciclar. A més, donat que la funció per a la qual ha estat concebut l'aparell és beneficiosa per al medi ambient, es pot afirmar que el disseny s'ha fet seguint les directrius necessàries per a la conservació de la natura.

Conclusions

La inspecció de canonades i conduccions de fluids en grans plantes d'indústries com la química, petroquímica o alimentària necessita d'un sistema més ràpid, fiable i segur que les tradicionals comprovacions visuals dels operaris. Mitjançant l'ús de noves tecnologies com els drons o la identificació de patrons de boles de pintura s'aconsegueix millorar en gran mesura aquesta acció, fent especial èmfasi en la rapidesa i la seguretat a l'hora de realitzar-la.

Per a donar solució al problema que es planteja, en totes les fases del disseny i posterior prototipatge del conjunt no només s'ha intentat trobar un resultat que satisfés els requeriments donats, sinó que s'ha intentat treballar en tot moment seguint la màxima homogeneïtzació en cadascun dels components per tal que el disseny realitzat sigui aprofitable en un futur, en cas de ser necessari, per a realitzar altres tasques dins la planta industrial. No obstant, és cert que en el procés de disseny no s'ha pogut disposar de total llibertat, doncs els requeriments d'obligat compliment no permetien donar una visió completament diferent i allunyada de treballs anteriors sobre el tema. Per tant, no ha estat possible trobar una solució més imaginativa i innovadora, que dotés al projecte d'un atractiu extra.

El resultat final obtingut satisfà els requeriments que s'havien plantejat en un principi, si bé és cert que al tractar-se d'un prototip és possible que mitjançant l'experiència real d'utilitzar-lo es puguin aplicar millores en alguns aspectes en un futur. Pel que fa al disseny purament mecànic, l'ús d'altres materials més avançats podrien fer millorar les prestacions del gimbal, tot i que funcionalment parlant la solució adoptada és vàlida i a priori funciona correctament. No deixa de ser cert, però, que fins que no es dissenyi el control del conjunt d'elements electrònics que componen el gimbal no es podrà avaluar amb tota seguretat el funcionament més o menys adequat de l'aparell. En aquesta aplicació en concret, tindrà molta més importància a l'hora de treballar que s'hagi programat un control correcte i eficient que no pas les possibles millores mecàniques que es puguin realitzar.

L'ús de programari de disseny 3D per al disseny i posterior anàlisi dels components ideats, ha permès arribar a un disseny final satisfactori, que no ha donat problemes a l'hora de ser assemblet i que satisfà les sol·licitacions provocades per la resta de components del conjunt. Combinant aquesta potent eina de disseny i anàlisi amb la gran quantitat d'informació i components disponibles online, s'ha pogut realitzar un disseny final sense haver de fer experimentacions intermèdies que no només haurien allargat el procés de disseny si no que haurien provocat un encariment de tot el procés, per hores i materials utilitzats.

L'ús d'impressores 3D per a la fabricació dels components dissenyats és una magnífica idea per a la realització de prototips com en aquest treball. Tant per preu com per possibilitats presenta innumerables avantatges respecte la mecanització tradicional o la utilització de motlles, tecnologies

que s'haurien hagut d'utilitzar en un passat per a la realització del prototip, fent que pràcticament es convertís en inviable. L'aparició de noves tecnologies, doncs, no només afavoreix que els dissenys funcionals finals siguin més avançats, sinó que permet que els treballs acadèmics com aquest puguin anar un pas més enllà i fabricar tot allò que s'ha dissenyat teòricament.

Pressupost

El pressupost que es mostra a continuació, pretén ser una representació aproximada dels costos totals derivats de l'elaboració d'aquest projecte. L'anàlisi dels costos s'ha subdividit en dues categories diferents segons el seu origen. També s'ha fet una valoració conjunta dels diferents costos.

- I. Cost de materials i components
- II. Cost d'enginyeria, gestió i disseny
- III. Cost total

No s'han tingut en compte costos d'equipament ni software informàtic, ja que s'ha considerat que ja es disposava tant d'ordinador com del software utilitzat. El correcte seria calcular l'amortització del cost que recauria sobre aquest projecte segons el temps utilitzat, però davant la resta de costos seria un import petit i el menysprearem. S'ha fet la mateixa consideració amb les eines necessàries per al muntatge del prototip, com podrien ser claus per collar els cargols o tornavisos.

I. Cost de materials i components

Els diferents components utilitzats en la realització del prototip es podrien diferenciar en dues categories, segons si són peces adquirides comercialment o si són les peces fabricades segons els dissenys realitzats. En la següent taula, s'hi pot observar la relació de components comprats amb els seus preus (IVA inclòs). El cargolam s'ha valorat en conjunt donant un preu aproximat.

Component	Proveïdor	Preu unitari (€)	Quantitat	Preu (€)
Motor GB36-1	<i>RC Innovations</i>	40,90	3	122,70
MPU-6050	<i>RC Innovations</i>	7,00	1	7,00
Rodament 618/7	<i>Infersa</i>	4,50	1	4,50
Goma antivibració	<i>RC Innovations</i>	1,00	16	16,00
Cargolam	<i>Infersa</i>	10,00	1	10,00
TOTAL COMPONENTS COMPRATS				160,20

Pel que fa als components fabricats segons el disseny realitzat, per una banda trobem les peces fabricades per impressió 3D, les quals s'han pagat a 5 euros per hora d'impressió. Per altra banda, el preu de tall làser de les xapes d'alumini s'ha acordat sota pressupost. En la següent taula es pot consultar la relació de preus.

Component	Proveïdor	Hores impressió	Quantitat	Preu (€)
Base	Čapek Maker	11	1	55,00
Recobrint eina marcadora 1	Čapek Maker	4,5	1	22,50
Recobrint eina marcadora 2	Čapek Maker	2,5	1	12,50
Eix	Čapek Maker	0,28	1	1,50
Suport sensor	Čapek Maker	0,18	1	1,00
Braços	Čapek Maker	9	1	45,00
Vertical	Čapek Maker	4,5	1	22,50
Conjunt xapes alumini	Catà Germans	-	1	32,50
TOTAL COMPONENTS FABRICATS				192,50

II. Cost d'enginyeria, gestió i disseny

El temps destinat a la gestió, disseny i redacció d'aquest treball ha estat d'aproximadament 4 mesos. S'ha considerat una jornada de 8 hores diàries treballades 5 dies a la setmana (aproximadament 20 dies al mes), a un preu de 30 euros hora. El preu de muntatge s'inclou en aquestes hores, ja que es considera que al tractar-se d'un prototip és el mateix enginyer qui s'encarrega de l'assemblatge, enlloc de derivar-ho en un operari.

$$\text{Cost d'enginyeria} = 4 \text{ mesos} \cdot \frac{20 \text{ dies}}{\text{mes}} \cdot \frac{8 \text{ hores}}{\text{dia}} \cdot \frac{30\text{€}}{\text{hora}} = 19200\text{€}$$

S'ha de tenir en compte que els costos d'enginyeria que engloba aquest pressupost són únicament els reflectits en aquest treball. Si aquest fos un projecte real i no acadèmic, encara faltaria tota la part del disseny i programació del control necessari per al correcte funcionament de l'aparell, així com la resta de costos derivats d'aquest procediment.

III. Cost total

Una vegada calculats els costos aplicables tant a materials i components com a mà d'obra, és possible calcular el cost total del projecte tal i com es mostra en la següent taula.

Concepte	Preu (€)
COST DE MATERIALS I COMPONENTS COMPRATS	160,20
COST DE MATERIALS I COMPONENTS FABRICATS	192,50
COST D'ENGIYERIA, GESTIÓ I DISSENY	19200,00
COST TOTAL	19552,70

El cost final del projecte ha estat de **19552,70 € (DINOU MIL CINQ-CENTS CINQUANTA-DOS EUROS AMB CINQUANTA CÈNTIMS)**.

Es convenient recalcar que la quantitat esmentada es refereix al cost del projecte. Si com a enginyer es realitzés aquest projecte per un client final, a aquest preu si hauria de sumar el marge de benefici que es volgués obtenir.

Bibliografia

- Airsoft World Game. <https://airsoftworldgame.com/es/pistolas-electricas-aep/929-glock-18c-yakuza-delta-tactics.html> (Consultada el 24 de juliol de 2018).
- Asociación espanyola de drones y afines. <https://www.aedron.com/> (Consultada el 19 de juliol de 2018).
- Brushless Motor. <https://es.slideshare.net/aitorbar/ejemplos-clculos-servomotores> (Consultada l'1 d'agost de 2018).
- Čapek Maker. <https://capekmaker.com/> (Consultada el 5 d'agost de 2018).
- Catà Germans. <http://www.catagermans.com> (Consultada el 5 d'agost de 2018).
- Contaval. "¿QUÉ es la visión artificial y para qué sirve?". <http://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/> (Consultada el 24 de juliol de 2018).
- Edmund Optics. <https://www.edmundoptics.es/p/gs3-u3-32s4c-c-1-1.8-inch-grasshopper-usb-3.0-color-camera/33122/> (Consultada el 24 de juliol de 2018).
- España. Real decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, de Régimen Jurídico del Sector Público [Internet]. Boletín Oficial del Estado, 29 de diciembre de 2017, num. 236, pp. 129609 a 129641. (Consultada el 19 de juliol de 2018). Disponible a: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-15721.
- Foto Igual. <http://fotoigual.com/8-calculo-del-angulo-vision-funcion-la-distancia-focal-tamano-del-sensor/> (Consultada el 26 de juliol de 2018).
- Jiménez, Marimar. "Drones, una industria creciente pero muy fragmentada y volátil". *El País*, 5
Diciembre 2016.
https://cincodias.elpais.com/cincodias/2016/12/05/tecnologia/1480965319_898663.html
(Consultada el 19 de juliol de 2018).
- Maker Shop BCN. <https://makershopbcn.com/abs-vs-pla-que-diferencia-existe-entre-estos-dos-filamentos-para-impresora-3d> (Consultada el 25 de juliol de 2018).
- Media Productora Audiovisual. "¿Qué es un gimbal?". <http://medya-audiovisual.com/que-es-un-gimbal/> (Consultada el 19 de juliol de 2018).

Open Future. “¿Para qué se utilizan los drones en el sector industrial en España?”. <https://www.openfuture.org/es/new/para-que-se-utilizan-los-drones-en-el-sector> (Consultada el 19 de juliol de 2018).

PwC. “Clarity from above”. <https://www.pwc.es/es/publicaciones/tecnologia/assets/clarity-from-above.pdf> (Consultada el 19 de juliol de 2018).

PwC. “El mercado de los drones puede generar un negocio de más de 127.000 millones de dólares”. <https://www.pwc.es/es/sala-prensa/notas-prensa/2016/mercado-drones-negocio.html> (Consultada el 19 de juliol de 2018).

Robologs. <https://robologs.net/2014/10/15/tutorial-de-arduino-y-mpu-6050/> (Consultada el 2 d’agost de 2018).

Son Robots. <http://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/> (Consultada l’1 d’agost de 2018).

Tamron. http://www.tamron.biz/en/data/ipcctv/cctv_mg/m118fm08.html (Consultada el 24 de juliol de 2018).

Annexos

- A1. Plec de condicions
- A2. Documentació tècnica de materials i components
- A3. Normativa aplicable
- A4. Plànols

A1. Plec de condicions

1. Introducció

I. Objecte i abast del plec

El següent plec de condicions té com a objectiu establir les condicions que validen la solució obtinguda en aquest treball . L'abast del plec no és total, per tant no s'autoritza com a document contractual.

II. Comptabilitat de documents

Són documents informatius del projecte els següents:

- Memòria i annexos
- Pressupost

Els documents de caràcter contractual són:

- Plànols
- Plec de condicions

Els documents de major importància són Memòria i Plànols per aquest ordre.

2. Condicions dels materials i components

I. Elements mecanitzats

Tots els elements mecanitzats han de respectar les dimensions especificades en els plànols. També els paràmetres d'acabat, rugositat, etc, en cas que s'indiqui.

II. Formes i condicions de les peces

S'ha de mantenir el material de fabricació que s'indica en la memòria i els plànols. Els components electrònics hauran de ser els mateixos per assegurar el correcte funcionament.

3. Condicions de muntatge

L'acoblament entre els diferents components que formen el conjunt les haurà de dur a terme un operari qualificat.

Per muntar el conjunt, es recomana seguir les següents directrius:

- I. Unir les dues subparts que conformen la base mitjançant cargols, volanderes i femelles antiblocants M5.
- II. Unir les dues subparts que conformen els braços mitjançant cargols, volanderes i femelles antiblocants M5.
- III. Incrustar eix a base a la zona preparada per a tal efecte.
- IV. Incrustar rodament a braços a la zona preparada per a tal efecte.
- V. Col·locar conjunt eix-base en el rodament.
- VI. Collar motor 1 a conjunt eix-base en costat oposat al rodament mitjançant cargols i volanderes M2.5.
- VII. Collar costat motor 1 oposat al del punt anterior a braços mitjançant cargols i volanderes M3.
- VIII. Collar motor 2 a conjunt base-braços mitjançant cargols i volanderes M2.5.
- IX. Collar vertical a motor 2 en costat oposat al punt anterior mitjançant cargols i volanderes M3.
- X. Collar motor 3 a xapa alumini inferior mitjançant cargols M3.
- XI. Posar gomes antivibració a xapa alumini inferior en els forats preparats per a tal efecte.
- XII. Collar costat lliure motor 3 a conjunt base-braços-vertical mitjançant cargols i volanderes M2.5.
- XIII. Posar costat lliure gomes antivibració a zona preparada per a tal efecte de xapa d'alumini superior.
- XIV. Col·locar sensor MPU-6050 en el seu suport i collar aquest a base mitjançant cargols, femelles i volanderes M3.

Realitzats aquests passos, tan sols quedaria col·locar l'eina marcadora fins el seu recobriment i collar la tapa mitjançant cargols, femelles i volanderes M3. Finalment collar tot el conjunt a la base. També restaria col·locar els dos conjunts càmera-objectiu en les seves posicions i col·locar tot el cablejat en posició correcta.

A2. Documentació tècnica de materials i components



General ABS POLYLAC[®] Characteristics PA-707

特性 PROPERTIES	測試方法 ASTM TEST METHOD	測試條件 TEST CONDITION	單位 UNIT	通用級 GENERAL
				PA-707
熔融指數 Melt Flow Index	D1238	200 °C, 5 Kg	g/10 min	1.7
		220 °C, 10 Kg		-
比重 Mass Density	D792	23 °C	-	1.06
硬度 Hardness	D785	-	R Scale	116
拉伸強度 (屈服) Tensile Strength (Yield)	D638	6 mm/min	Kg/cm ²	490
			lb/in ²	6950
延伸率 Tensile Elongation	D638	6 mm/min	%	20
彎曲強度 Flexural Strength	D790	2.8 mm/min	Kg/cm ²	860
			lb/in ²	12200
彎曲彈性模數 Flexural Modulus	D790	2.8 mm/min	10 ⁴ Kg/cm ²	2.9
			10 ⁵ lb/in ²	4.1
IZOD 衝擊強度 Izod Impact Strength	D256 (Notched)	6.4 mm, 23°C	Kg-cm/cm	15
			ft-lb/in	2.7
		3.2 mm, 23°C	Kg-cm/cm	16
			ft-lb/in	2.9
維氏軟化溫度 Vicat Softening Temp.	D1525	1 Kg, 50 °C/hr	°C	105
			°F	221
熱變形溫度 Heat Distortion Temp.	D648	1.8 MPa Annealed	°C	95
			°F	203
		1.8 MPa Unannealed	°C	85
			°F	186
UL 燃燒等級 UL Flammability	UL 94	-	-	1.5 mm HB

May 2, 2013

Notes : These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

The above statement is based on our current level of knowledge and covers the above products directly manufactured and supplied by CHI MEI CORPORATION at the date of issue. CHI MEI CORPORATION makes no warranties, whether express or implied, and assumes no liability in connection with any use of above information. Notwithstanding the foregoing, CHI MEI CORPORATION shall in no event be held obligated or liable for any claims due to or arising from (i) any customer provided, consigned, materials and/or parts, which are incorporated or adopted in the products; (ii) any combination of the products with material not provided or authorized by our company; (iii) any modifications to the products which are made or directed by customer; (iv) our compliance with the specifications, instructions, and/or designs provided by customer; (v) any anti-trust, unfair competition and/or other unlawful actions effected by customer; or (vi) any defects, infringement, breach and/or violation which are arising out of customer's faults or otherwise not solely and directly attributable to CHI MEI CORPORATION. In no event will CHI MEI CORPORATION be liable for any indirect, special, exemplary, punitive, or consequential damages (including lost profits) of any nature whatsoever whether arising out of the purchase, shipment, unloading, handling, or use of any product or otherwise.

FLIR GRASSHOPPER[®]3 USB3 VISION



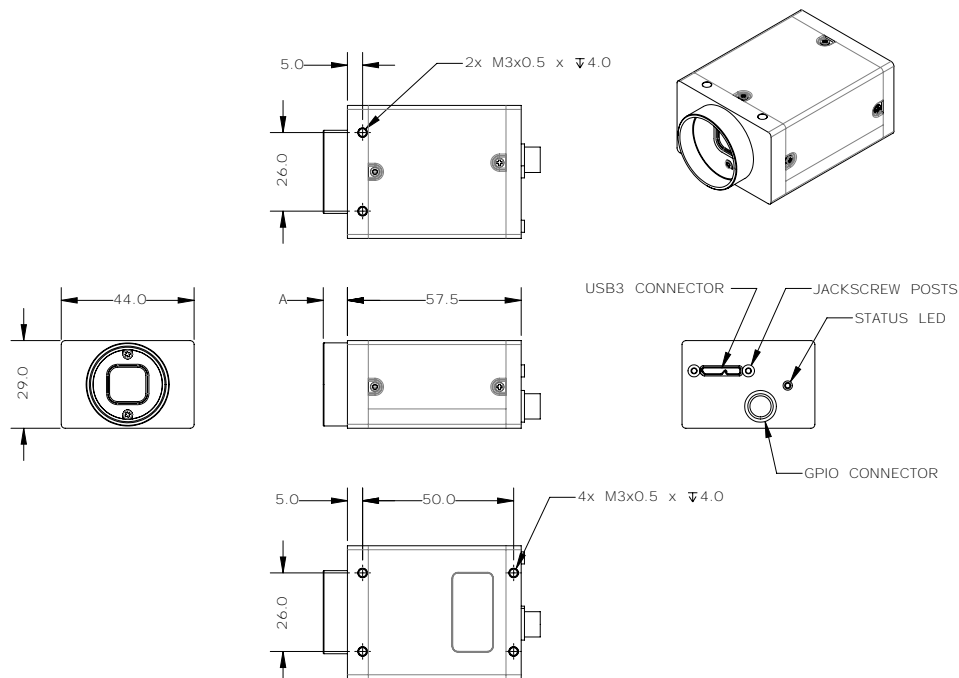
HIGH PERFORMANCE CCD + CMOS

The high performance Grasshopper3 camera line combines the benefits of CCD with the affordability and data throughput of USB 3.0. Its FPGA and frame buffer-based architecture provides optimal reliability, a rich set of features, and a full image processing pipeline including color interpolation, gamma, and lookup table functionality. The Grasshopper3 offers a powerful, easy-to-use, and cost-effective alternative to Camera Link and dual GigE LAG solutions.

KEY FEATURES

- USB 3.0 for bandwidth, ease of use, and cost effectiveness
- Variety of high-resolution large format CCD and CMOS sensors
- FPGA and frame buffer-based architecture for optimal reliability

USB[™]
VISION



Specifications

Model	Version	MP	Imaging Sensor
GS3-U3-14S5C-C GS3-U3-14S5M-C	Color Mono	1.4 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX285, 2/3", 6.45 µm• Global shutter• 30 FPS at 1384 x 1036
GS3-U3-15S5C-C GS3-U3-15S5M-C	Color Mono	1.4 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX825, 2/3", 6.45 µm• Global shutter• 45 FPS at 1384 x 1032
GS3-U3-23S6C-C GS3-U3-23S6M-C	Color Mono	2.3 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony IMX174, 1/1.2", 5.86 µm• Global shutter• 163 FPS at 1920 x 1200
GS3-U3-28S4C-C GS3-U3-28S4M-C	Color Mono	2.8 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX687, 1/1.8", 3.69 µm• Global shutter• 26 FPS at 1928 x 1448
GS3-U3-28S5C-C GS3-U3-28S5M-C	Color Mono	2.8 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX674, 2/3", 4.54 µm• Global shutter• 26 FPS at 1920 x 1440
GS3-U3-32S4C-C GS3-U3-32S4M-C	Color Mono	3.2 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony IMX252, 1/1.8", 3.45 µm• Global shutter• 121 FPS at 2048 x 1536
GS3-U3-41C6C-C GS3-U3-41C6M-C	Color Mono	4.1 MP	<ul style="list-style-type: none">• CMOSISCMV4000-3E5, 1", 5.5 µm• Global shutter• 90 FPS at 2048 x 2048
GS3-U3-41C6NIR	Mono NIR	4.1 MP	<ul style="list-style-type: none">• CMOSISCMV4000-3E12, 1", 5.5 µm• Global shutter• 90 FPS at 2048 x 2048
GS3-U3-41S4C-C GS3-U3-41S4M-C	Color Mono	4.1 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX808, 1/1.8", 3.1 µm• Global shutter• 18 FPS at 2016 x 2016
GS3-U3-50S5C-C GS3-U3-50S5M-C	Color Mono	5.0 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX625, 2/3", 3.45 µm• Global shutter• 15 FPS at 2448 x 2048
GS3-U3-51S5C-C GS3-U3-51S5M-C	Color Mono	5.0 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony IMX250, 2/3", 3.45 µm• Global shutter• 75 FPS at 2448 x 2048
GS3-U3-60S6C-C GS3-U3-60S6M-C	Color Mono	6.0 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX694, 1", 4.54 µm• Global shutter• 13 FPS at 2736 x 2192
GS3-U3-60QS6C-C GS3-U3-60QS6M-C	Color Mono	6.0 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX694, 1", 4.54 µm• Global shutter• 25 FPS at 2736 x 2192
GS3-U3-89S6C-C GS3-U3-89S6M-C	Color Mono	8.9 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony IMX255, 1", 3.45 µm• Global shutter• 43 FPS at 4096 x 2160
GS3-U3-91S6C-C GS3-U3-91S6M-C	Color Mono	9.1 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX814, 1", 3.69 µm• Global shutter• 9 FPS at 3376 x 2704
GS3-U3-120S6C-C GS3-U3-120S6M-C	Color Mono	12 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony ICX834, 1", 3.1 µm• Global shutter• 7 FPS at 4240 x 2824
GS3-U3-123S6C-C GS3-U3-123S6M-C	Color Mono	12.3 MP	<ul style="list-style-type: none">• Sony IMX253, 1.1", 3.45 µm• Global shutter• 30 FPS at 4096 x 3000

Imaging Performance (EMVA 1288)	See the Imaging Performance Specification, which includes quantum efficiency, saturation capacity (full well depth), read noise, dynamic range and signal to noise ratio.
A/D Converter	14-bit (10-bit GS3-U3-41C6, 10- and 12-bit GS3-U3-23S6, GS3-U3-32S4, GS3-U3-51S5, GS3-U3-89S6, GS3-U3-123S6)
Video Data Output	8, 12, 16 and 24-bit digital data
Image Data Formats	Mono8, Mono12, Mono16 (all models) RGB, YUV411, YUV422, YUV444, Raw8, Raw12, Raw16 (color models)
Partial Image Modes	Pixel binning and region of interest (ROI) modes
Image Processing	Gamma, lookup table, hue, saturation, and sharpness
Shutter	Global shutter; Automatic/manual/one- push/extended shutter modes Up to 32 seconds (GS3-U3-28S5, GS3-U3-41S4, GS3-U3-60S5, GS3-U3-60S6, GS3-U3-89S6, GS3-U3-91S6, GS3-U3-123S6); up to 30 seconds (GS3-U3-28S4); up to 4 seconds (GS3-U3-14S5, GS3-U3-15S5, GS3-U3-32S4, GS3-U3-41C6, GS3-U3-51S5, GS3-U3-120S6); up to 3.2 seconds (GS3-U3-23S6)
Gain	Automatic/manual/one- push modes -3.66 dB to 24 dB GS3-U3-14S5; -1.583 dB to 24 dB GS3-U3-15S5; 0 dB to 24 dB GS3-U3-23S6/GS3-U3-28S4/GS3-U3-28S5; 0 dB to 47.9 dB GS3-U3-32S4; 0 to 10.1 dB GS3-U3-41C6; -7.742 dB to 24 dB GS3-U3-41S4; -6.51 dB to 24 dB GS3-U3-50S5; 0 dB to 48 dB GS3-U3-51S5, GS3-U3-89S6, GS3-U3-123S6; -6.158 to 24 dB GS3-U3-60S6; -9 to 24 dB GS3-U3-91S6; -5.455 dB to 24 dB GS3-U3-120S6
Gamma	0.50 to 4.00, programmable lookup table
White Balance	Automatic/manual/one- push modes
High Dynamic Range	Cycle 4 gain and exposure presets
Color Processing	On-camera in YUV or RGB format, or on-PC in Raw format
Digital Interface	USB 3.0 interface with screw locks for camera control, data, and power
Transfer Rates	5 Gbit/s
GPIO	8-pin Hirose HR25 GPIO connector for power, trigger, strobe, PWM, and serial I/O, 1 opto-isolated input, 1 opto-isolated output, 2 bi-directional I/O pins
External Trigger Modes	Standard, bulb, low smear (CCDonly), overlapped, and multi shot trigger modes
Image Buffer	128 MB frame buffer
Memory Channels	2 user configuration sets for custom camera settings
Flash Memory	2 MB non-volatile memory
Dimensions	44 mm x 29 mm x 58 mm excluding lens holder, without optics (metal case)
Mass	90 grams (without optics or tripod mounting bracket)
Power Consumption	5 V via USB 3.0 or 8-24 V via GPIO (external power is recommended)
Camera Control	Via FlyCapture SDK or third party software
Camera Updates	In-field firmware updates
Lens Mount	C-mount
Temperature	Operating: 0° to 50°C; Storage: -30° to 60°C
Humidity	Operating: 20 to 80% (no condensation); Storage: 20 to 95% (no condensation)
Compliance	CE, FCC, RoHS
Operating System	Windows, Linux (32- or 64-bit)
Warranty	3 years

FLIR Integrated Imaging Solutions

CANADA

12051 Riverside Way
Richmond, BC, Canada
V6W 1K7
T: +1 866.765.0827 (toll free)
T: +1 604.242.9937
F: +1 604.242.9938
E: mv-sales@flir.com
www.flir.com/iis

USA

T: +1 866.765.0827 (toll free)
E: mv-na-sales@ptgrey.com

EUROPE

T: +49 7141 488817-0
F: +49 7141 488817-99
E: mv-eusales@flir.com

CHINA

T: +86 10 8215 9938
F: +86 10 8215 9936
E: mv-chinasales@flir.com

ASIA

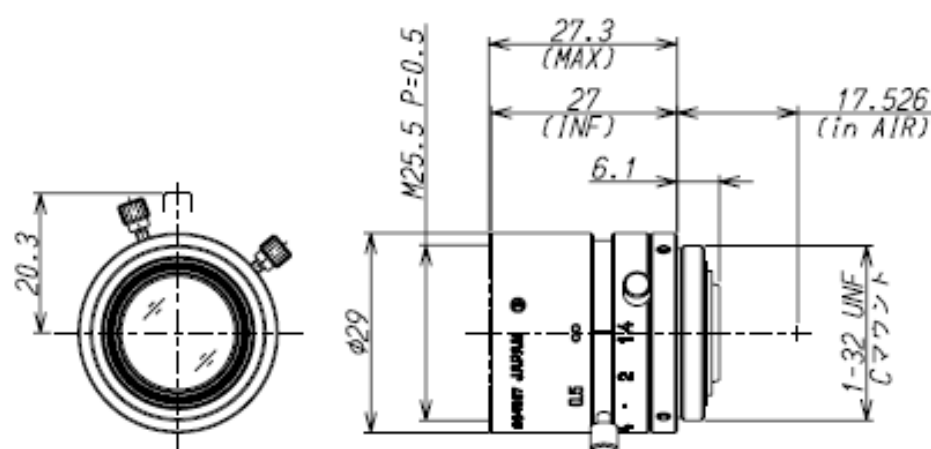
E: mv-asiasales@ptgrey.com

For a full list of international distributors and offices visit www.flir.com/contact-us

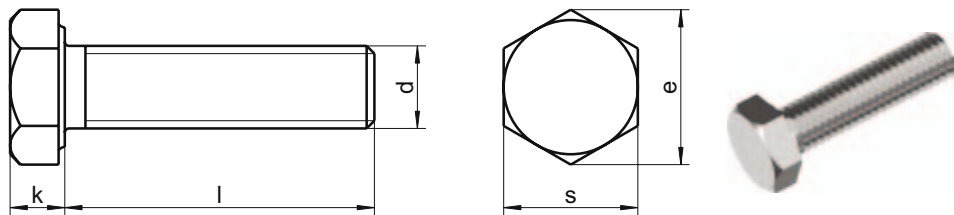
©2017 FLIR® Integrated Imaging Solutions Inc. All rights reserved.

Names and marks appearing on the products herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR® Systems, Inc. and/or its subsidiaries.

M118FM08



Imager Size	CCDサイズ	1/1.8
Mount Type	マウント	C
Focal Length	焦点距離	8mm
Aperture Range	絞り範囲	1.4~16
Angle of View(Horizontal×Vertical) 画角(水平×垂直)	1/1.8	50.8°×38.6°
	1/2	45.0°×34.0°
	1/3	34.0°×25.6°
Focusing Range	フォーカス範囲	0.1m ~ ∞
Operation 操作方法	Focus フォーカス	Manual w/Lock 手動 ロック付き
	Iris アイリス	Manual w/Lock 手動 ロック付き
Filter Size	フィルターネジ径	M25.5 P=0.5mm
Back Focus(in air)	バックフォーカス(in air)	11.726mm
Weight	重量	44 g
Operating Temperature	動作温度範囲	-10℃~+60℃

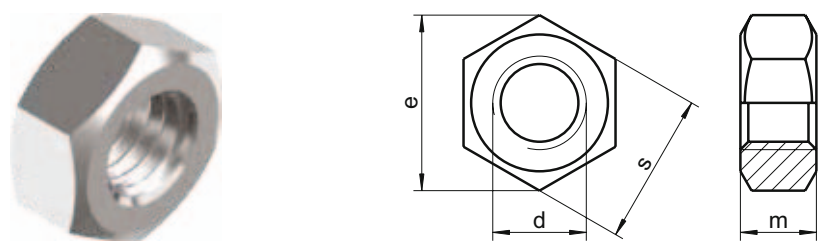


k max.	1,4	1,7	2,0	2,8	3,5	4,0	5,3	6,4	7,5	8,8	10,0	11,5	12,5
s	4	5	5,5	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30
e	4,32	5,45	6,01	7,66	8,79	11,05	14,38	18,90	21,10	24,49	26,75	30,14	33,53
●	4	5	5,5	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30
Long. / Ø	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
3	▲ ●	▲ ●											
4	▲ ●	▲ ●											
5	▲ ●	▲ ●											
6	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●									
8	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●						
10	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●					
12	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●					
14	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●					
16	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●				
18	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●				
20	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●		
22			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●		
25			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	
30			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
35			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
40			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
45			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
50			▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
55				▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
60				▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
65				▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
70				▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
75					▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
80					▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
85						▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
90						▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●
UV	1000	1000	1000 ≥ 25 500	1000 ≥ 25 500	500 ≥ 45 200 ≥ 70 100	500 ≥ 14 200 ≥ 45 100	200 ≥ 25 100 ≥ 85 50	100 ≥ 50 50	100 ≥ 50 50	25	25	25	25

■ A1 / ▲ A2 / ● A4 | UV: Unidad de venta | Todas las medidas en mm | Otras dimensiones bajo pedido
Ejemplo Art.-Nr.: 933-2-8X40 DIN 933 - A2 - M8 - l = 40mm

DIN 934 - sim. ISO 4032

Tuercas hexagonales



d	m min.	s	e	●
M1,4	0,95	3	3,28	3
M1,6	1,05	3,2	3,41	3,2
M1,7	1,15	3,5	3,82	3,5
M2	1,35	4	4,32	4
M2,3	1,55	4,5	4,88	4,5
M2,5	1,75	5	5,45	5
M2,6	1,75	5	5,45	5
M3	2,15	5,5	6,01	5,5
M3,5	2,55	6	6,58	6
M4	2,90	7	7,66	7
M5	3,70	8	8,79	8
M6	4,70	10	11,05	10
M7	5,20	11	12,12	11
M8	6,14	13	14,38	13
M10	7,64	17	18,90	17
M12	9,64	19	21,10	19
M14	10,30	22	24,49	22
M16	12,30	24	26,75	24
M18	14,30	27	29,56	27
M20	14,90	30	32,95	30
M22	16,90	32	35,03	32
M24	17,70	36	39,55	36
M27	20,70	41	45,20	41
M30	22,70	46	50,85	46
M33	24,70	50	55,37	50
M36	27,40	55	60,79	55
M39	29,40	60	66,44	60
M42	32,40	65	71,30	65
M45	34,40	70	76,95	70
M48	36,40	75	82,60	75
M52	40,40	80	88,25	80
M60	46,40	90	99,21	90
M64	49,10	95	104,86	95

Grado	UV
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	1000
▲●	500
▲●	500
▲●	200
▲●	100
▲●	100
▲●	100
▲●	50
▲●	50
▲●	50
▲●	25
▲●	25
▲●	25
▲●	25
▲●	10
▲●	10
▲●	10
▲●	10
▲●	5
▲●	5
▲●	1
▲●	1
▲●	1

■ A1 / ▲ A2 / ● A4 | UV: Unidad de venta | Todas las medidas en mm | Otras dimensiones bajo pedido

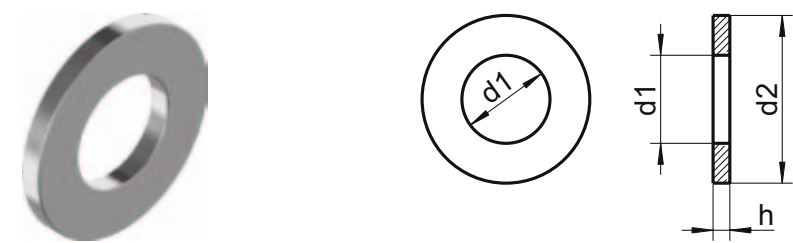
Ejemplo Art.-Nr.: 934-2-10 DIN 934 - A2 - M10

Tuercas hexagonales DIN 934 con paso fino, rosca izquierda y derecha, UNC, con AD2000-W2 y fabricados con materiales especiales se pueden encontrar en las siguientes páginas. Tengase en cuenta que el DIN 934 hasta M24 se entrega como estandar en A2-70 y A4-80. El inoxidable A2-80 se puede encontrar en una de las páginas siguientes. Tuercas hexagonales con diferentes medidas de llave según ISO 4032 también se encuentran en las siguientes páginas.

DIN 125 A - sim. ISO 7089

Arandela plana

Forma A (sin bisel)



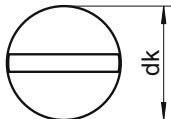
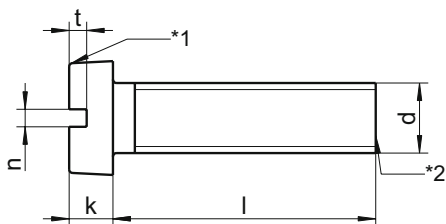
d1	para	d2	h
1,7	M1,6	4,0	0,3
1,8	M1,7	4,5	0,3
2,2	M2	5,0	0,3
2,5	M2,3	6,0	0,5
2,7	M2,5	6,0	0,5
2,8	M2,6	7,0	0,5
3,2	M3	7,0	0,5
3,7	M3,5	8,0	0,5
4,3	M4	9,0	0,8
5,3	M5	10,0	1,0
6,4	M6	12,0	1,6
7,4	M7	14,0	1,6
8,4	M8	16,0	1,6
10,5	M10	20,0	2,0
13,0	M12	24,0	2,5
15,0	M14	28,0	2,5
17,0	M16	30,0	3,0
19,0	M18	34,0	3,0
21,0	M20	37,0	3,0
23,0	M22	39,0	3,0
25,0	M24	44,0	4,0
28,0	M27	50,0	4,0
31,0	M30	56,0	4,0
34,0	M33	60,0	5,0
37,0	M36	66,0	5,0
40,0	M39	72,0	6,0
43,0	M42	78,0	7,0
46,0	M45	85,0	7,0
50,0	M48	92,0	8,0
52,0	M50	92,0	8,0
54,0	M52	98,0	8,0

Grado	UV
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	500
▲ ●	500
▲ ●	200
▲ ●	200
▲ ●	200
▲ ●	200
▲ ●	100
▲ ●	100
▲ ●	50
▲ ●	25
▲ ●	25
▲ ●	10
▲ ●	10
▲ ●	10
▲ ●	10
▲ ●	10
▲ ●	10

■ A1 / ▲ A2 / ● A4 | UV: Unidad de venta | Todas las medidas en mm | Otras dimensiones bajo pedido
Ejemplo Art.-Nr.: 125-2-8,4 DIN 125 - A2 - Ø 8,4mm - Forma A

Arandelas planas 200 HV aparecen como ISO 7089 en las páginas siguientes. Arandelas para tornillos de cabeza cilíndrica aparecen como DIN 433 en este catálogo. Arandelas planas de Poliamida aparecen como WS 9500, aquellas con mayor área de contacto como DIN 9021 y arandelas tipo NFE 25-514 como WS 9246 hasta WS 9248.

sim. ISO 1207 - **DIN 84**
Tornillo cabeza cilíndrica
ranurado

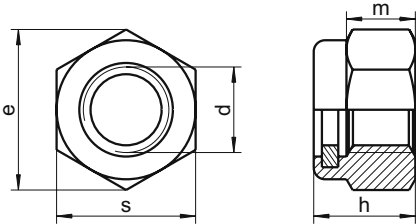


dk	3,0	3,8	4,5	5,5	6,0	7,0	8,5	10,0	13,0	16,0
k	1,0	1,3	1,6	2,0	2,4	2,6	3,3	3,9	5,0	6,0
n	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,20	1,60	2,00	2,50
t	0,45	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,30	1,60	2,00	2,40
Ø	0,4X2,0	0,5X3,0	0,6X3,5	0,8X4,0	1,0X5,5	1,2X7,0	1,2X7,0	1,6X9,0	2,0X12,0	2,5X14,0
Long. / Ø	M1,6	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5	M6	M8	M10
3	▲●	▲●	▲●	▲●						
4	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●				
5	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●				
6	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●		
8	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●		
10	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	
12	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	
14	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	
16	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
18	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
20		▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
22		▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
25		▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
28		▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
30		▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
35				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
40				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
45				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
50				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
55				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
60				▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
65						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
70						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
75						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
80						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
85						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
90						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
100						▲●	▲●	▲●	▲●	▲●
UV	1000	1000	1000	1000 ≥ 25 200	1000 ≥ 25 500	1000 ≥ 25 500	500 ≥ 25 200	500 ≥ 25 200	100	100 ≥ 60 50

■ A1 / ▲ A2 / ● A4 | UV: Unidad de venta | Todas las medidas en mm | Otras dimensiones bajo pedido
Ejemplo Art.-Nr.: 84-2-8X40 DIN 84 - A2 - M8 - l = 40mm - *1: borde redondeado o aplanado | *2: sin punta

sim. ISO 10511 - **DIN 985**
Tuercas hexagonales

autoblocante con anilla de retención no metálica, forma baja

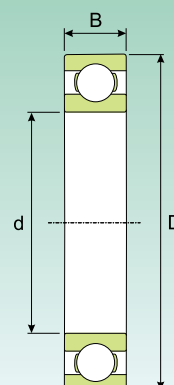


d	m	h	s	e	●
M2,5	3,5	2,3	5	5,50	5
M3	2,4	2,4	5,5	6,01	5,5
M4	2,9	2,9	7	7,66	7
M5	3,2	3,2	8	8,79	8
M6	4,0	6,0	10	11,05	10
M8	5,5	8,0	13	14,38	13
M10	6,5	10,0	17	18,90	17
M12	8,0	12,0	19	21,10	19
M14	9,5	14,0	22	24,49	22
M16	10,5	16,0	24	26,75	24
M18	13,0	18,5	27	29,56	27
M20	14,0	20,0	30	32,95	30
M22	15,0	22,0	32	35,03	32
M24	15,0	24,0	36	39,55	36
M27	17,0	27,0	41	45,20	41
M30	19,0	30,0	46	50,85	46
M33	22,0	33,0	50	55,37	50
M36	25,0	36,0	55	60,79	55

Grado	UV
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	1000
▲ ●	500
▲ ●	200
▲ ●	100
▲ ●	100
▲ ●	100
▲ ●	50
▲ ●	50
▲ ●	50
▲ ●	25
▲ ●	25
▲ ●	25
▲ ●	25
▲ ●	25
▲ ●	25

■ A1 / ▲ A2 / ● A4 | UV: Unidad de venta | Todas las medidas en mm | Otras dimensiones bajo pedido
Ejemplo Art.-Nr.: 985-2-8 DIN 985 - A2 - M8

RODAMIENTOS RÍGIDOS DE UNA HILERA DE BOLAS RADIAL DEEP GROOVE BALL BEARINGS, SINGLE ROW



Dimensiones (mm) Dimension (mm)			Coeficiente de carga (kN) Load rating (kN)		Velocidad límite (rpm) Speed limit (Rpm)		Peso (Kg) Weight (Kg)	Sigla Designation
d (mm)	D (mm)	B (mm)	Dinámico Dynamic C	Estático Static C ₀	Lubricación Lubrication			
					Grasa Grease	Aceite Oil		
3	10	4	0.53	0.180	61200	72000	0.0015	623
4	9	2.5	0.53	0.180	65025	76500	0.0007	618/4
	11	4	0.71	0.230	61200	72000	0.0017	619/4
	12	4	0.79	0.230	57375	67500	0.0021	604
	13	5	0.92	0.290	51255	60300	0.0031	624
	16	5	1.1	0.380	45900	54000	0.0054	634
5	11	3	0.63	0.250	57375	67500	0.0012	618/5
	13	4	0.87	0.34	51255	60300	0.0025	619/5
	16	5	1.12	0.38	45900	54000	0.0050	625
	19	6	2.30	0.94	38250	45000	0.009	635
6	13	3.5	0.87	0.34	51255	60300	0.002	618/6
	15	5	1.2	0.47	48195	56700	0.0039	619/6
	19	6	2.30	0.94	38250	45000	0.0084	626
7	14	3.5	0.94	0.4	48195	56700	0.0022	618/7
	17	5	1.45	0.55	42840	50400	0.0049	619/7
	19	6	2.30	0.94	40545	47700	0.0075	607
	22	7	3.4	1.35	34425	40500	0.013	627
8	16	4	1.3	0.56	42840	50400	0.0030	618/8
	19	6	1.9	0.73	38250	45000	0.0071	619/8
	22	7	3.4	1.35	36720	43200	0.012	608
	24	8	3.9	1.63	30600	36000	0.017	628
9	17	4	1.40	0.63	40545	47700	0.0034	618/9
	20	6	2.1	0.85	36720	43200	0.0076	619/9
	24	7	3.9	1.63	32895	38700	0.014	609
	26	8	4.65	1.93	29070	34200	0.02	629
10	15	3	66	34	36000	43000	0.005	61700
	19	5	1.40	0.58	36720	43200	0.0055	61800
	19	7	133	056	34000	40500	0.007	63800
	22	6	2.0	0.84	34425	40500	0.01	61900
	26	8	4.7	1.93	30600	36000	0.019	6000
	28	8	4.5	1.93	30600	36000	0.022	16100
	30	9	5.3	2.32	26010	30600	0.032	6200
	35	11	8.4	3.34	24480	28800	0.053	6300
12	18	4	72	41	31000	37000	0.004	61701
	21	5	1.40	0.66	32895	38700	0.0063	61801
	21	7	149	0.68	30500	36000	0.005	63801
	24	6	2.2	0.97	30600	36000	0.011	61901
	28	8	5.30	2.32	29070	34200	0.022	6001
	30	8	5	2.32	26010	30600	0.023	16101
	32	10	7.2	3.04	24480	28800	0.037	6201
	37	12	9.9	4.07	21420	25200	0.06	6301
15	21	4	81	44	27000	32000	0.006	61702
	24	5	1.53	0.79	29070	34200	0.0074	61802
	24	7	162	0.79	26000	31500	0.01	63802



InvenSense Inc.

1197 Borregas Ave, Sunnyvale, CA 94089 U.S.A.
Tel: +1 (408) 988-7339 Fax: +1 (408) 988-8104
Website: www.invensense.com

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

MPU-6000 and MPU-6050

Product Specification

Revision 3.4



CONTENTS

1	REVISION HISTORY	5
2	PURPOSE AND SCOPE	6
3	PRODUCT OVERVIEW	7
3.1	MPU-60X0 OVERVIEW	7
4	APPLICATIONS.....	9
5	FEATURES	10
5.1	GYROSCOPE FEATURES.....	10
5.2	ACCELEROMETER FEATURES	10
5.3	ADDITIONAL FEATURES	10
5.4	MOTIONPROCESSING.....	11
5.5	CLOCKING	11
6	ELECTRICAL CHARACTERISTICS	12
6.1	GYROSCOPE SPECIFICATIONS	12
6.2	ACCELEROMETER SPECIFICATIONS.....	13
6.3	ELECTRICAL AND OTHER COMMON SPECIFICATIONS.....	14
6.4	ELECTRICAL SPECIFICATIONS, CONTINUED	15
6.5	ELECTRICAL SPECIFICATIONS, CONTINUED	16
6.6	ELECTRICAL SPECIFICATIONS, CONTINUED	17
6.7	I ² C TIMING CHARACTERIZATION.....	18
6.8	SPI TIMING CHARACTERIZATION (MPU-6000 ONLY)	19
6.9	ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	20
7	APPLICATIONS INFORMATION	21
7.1	PIN OUT AND SIGNAL DESCRIPTION.....	21
7.2	TYPICAL OPERATING CIRCUIT.....	22
7.3	BILL OF MATERIALS FOR EXTERNAL COMPONENTS	22
7.4	RECOMMENDED POWER-ON PROCEDURE	23
7.5	BLOCK DIAGRAM	24
7.6	OVERVIEW	24
7.7	THREE-AXIS MEMS GYROSCOPE WITH 16-BIT ADCs AND SIGNAL CONDITIONING.....	25
7.8	THREE-AXIS MEMS ACCELEROMETER WITH 16-BIT ADCs AND SIGNAL CONDITIONING	25
7.9	DIGITAL MOTION PROCESSOR	25
7.10	PRIMARY I ² C AND SPI SERIAL COMMUNICATIONS INTERFACES	25
7.11	AUXILIARY I ² C SERIAL INTERFACE	26



7.12	SELF-TEST	27
7.13	MPU-60X0 SOLUTION FOR 9-AXIS SENSOR FUSION USING I ² C INTERFACE	28
7.14	MPU-6000 USING SPI INTERFACE	29
7.15	INTERNAL CLOCK GENERATION	30
7.16	SENSOR DATA REGISTERS	30
7.17	FIFO	30
7.18	INTERRUPTS	30
7.19	DIGITAL-OUTPUT TEMPERATURE SENSOR	31
7.20	BIAS AND LDO	31
7.21	CHARGE PUMP	31
8	PROGRAMMABLE INTERRUPTS.....	32
9	DIGITAL INTERFACE	33
9.1	I ² C AND SPI (MPU-6000 ONLY) SERIAL INTERFACES	33
9.2	I ² C INTERFACE	33
9.3	I ² C COMMUNICATIONS PROTOCOL.....	33
9.4	I ² C TERMS	36
9.5	SPI INTERFACE (MPU-6000 ONLY)	37
10	SERIAL INTERFACE CONSIDERATIONS (MPU-6050)	38
10.1	MPU-6050 SUPPORTED INTERFACES.....	38
10.2	LOGIC LEVELS	38
10.3	LOGIC LEVELS DIAGRAM FOR AUX_ VDDIO = 0.....	39
11	ASSEMBLY	40
11.1	ORIENTATION OF AXES	40
11.2	PACKAGE DIMENSIONS	41
11.3	PCB DESIGN GUIDELINES.....	42
11.4	ASSEMBLY PRECAUTIONS	43
11.5	STORAGE SPECIFICATIONS.....	46
11.6	PACKAGE MARKING SPECIFICATION.....	46
11.7	TAPE & REEL SPECIFICATION	47
11.8	LABEL	48
11.9	PACKAGING	49
11.10	REPRESENTATIVE SHIPPING CARTON LABEL.....	50
12	RELIABILITY	51
12.1	QUALIFICATION TEST POLICY	51



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

12.2	QUALIFICATION TEST PLAN	51
13	ENVIRONMENTAL COMPLIANCE.....	52



1 Revision History

Revision Date	Revision	Description
11/24/2010	1.0	Initial Release
05/19/2011	2.0	For Rev C parts. Clarified wording in sections (3.2, 5.1, 5.2, 6.1-6.4, 6.6, 6.9, 7, 7.1-7.6, 7.11, 7.12, 7.14, 8, 8.2-8.4, 10.3, 10.4, 11, 12.2)
07/28/2011	2.1	Edited supply current numbers for different modes (section 6.4)
08/05/2011	2.2	Unit of measure for accelerometer sensitivity changed from LSB/mg to LSB/g
10/12/2011	2.3	Updated accelerometer self test specifications in Table 6.2. Updated package dimensions (section 11.2). Updated PCB design guidelines (section 11.3)
10/18/2011	3.0	For Rev D parts. Updated accelerometer specifications in Table 6.2. Updated accelerometer specification note (sections 8.2, 8.3, & 8.4). Updated qualification test plan (section 12.2).
10/24/2011	3.1	Edits for clarity Changed operating voltage range to 2.375V-3.46V Added accelerometer Intelligence Function increment value of 1mg/LSB (Section 6.2) Updated absolute maximum rating for acceleration (any axis, unpowered) from 0.3ms to 0.2ms (Section 6.9) Modified absolute maximum rating for Latch-up to Level A and $\pm 100\text{mA}$ (Section 6.9, 12.2)
11/16/2011	3.2	Updated self-test response specifications for Revision D parts dated with date code 1147 (YYWW) or later. Edits for clarity Added Gyro self-test (sections 5.1, 6.1, 7.6, 7.12) Added Min/Max limits to Accel self-test response (section 6.2) Updated Accelerometer low power mode operating currents (Section 6.3) Added gyro self test to block diagram (section 7.5) Updated packaging labels and descriptions (sections 11.8 & 11.9)
5/16/2012	3.3	Updated Gyro and Accelerometer self test information (sections 6.1, 6.2, 7.12) Updated latch-up information (Section 6.9) Updated programmable interrupts information (Section 8) Changed shipment information from maximum of 3 reels (15K units) per shipper box to 5 reels (25K units) per shipper box (Section 11.7) Updated packing shipping and label information (Sections 11.8, 11.9) Updated reliability references (Section 12.2)
8/19/2013	3.4	Updates section 4



2 Purpose and Scope

This product specification provides advanced information regarding the electrical specification and design related information for the MPU-6000™ and MPU-6050™ MotionTracking™ devices, collectively called the MPU-60X0™ or MPU™.

Electrical characteristics are based upon design analysis and simulation results only. Specifications are subject to change without notice. Final specifications will be updated based upon characterization of production silicon. For references to register map and descriptions of individual registers, please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document.

The self-test response specifications provided in this document pertain to Revision D parts with date codes of 1147 (YYWW) or later. Please see Section 11.6 for package marking description details.



3 Product Overview

3.1 MPU-60X0 Overview

MotionInterface™ is becoming a “must-have” function being adopted by smartphone and tablet manufacturers due to the enormous value it adds to the end user experience. In smartphones, it finds use in applications such as gesture commands for applications and phone control, enhanced gaming, augmented reality, panoramic photo capture and viewing, and pedestrian and vehicle navigation. With its ability to precisely and accurately track user motions, MotionTracking technology can convert handsets and tablets into powerful 3D intelligent devices that can be used in applications ranging from health and fitness monitoring to location-based services. Key requirements for MotionInterface enabled devices are small package size, low power consumption, high accuracy and repeatability, high shock tolerance, and application specific performance programmability – all at a low consumer price point.

The MPU-60X0 is the world's first integrated 6-axis MotionTracking device that combines a 3-axis gyroscope, 3-axis accelerometer, and a Digital Motion Processor™ (DMP) all in a small 4x4x0.9mm package. With its dedicated I²C sensor bus, it directly accepts inputs from an external 3-axis compass to provide a complete 9-axis MotionFusion™ output. The MPU-60X0 MotionTracking device, with its 6-axis integration, on-board MotionFusion™, and run-time calibration firmware, enables manufacturers to eliminate the costly and complex selection, qualification, and system level integration of discrete devices, guaranteeing optimal motion performance for consumers. The MPU-60X0 is also designed to interface with multiple non-inertial digital sensors, such as pressure sensors, on its auxiliary I²C port. The MPU-60X0 is footprint compatible with the MPU-30X0 family.

The MPU-60X0 features three 16-bit analog-to-digital converters (ADCs) for digitizing the gyroscope outputs and three 16-bit ADCs for digitizing the accelerometer outputs. For precision tracking of both fast and slow motions, the parts feature a user-programmable gyroscope full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ (dps) and a user-programmable accelerometer full-scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, and $\pm 16g$.

An on-chip 1024 Byte FIFO buffer helps lower system power consumption by allowing the system processor to read the sensor data in bursts and then enter a low-power mode as the MPU collects more data. With all the necessary on-chip processing and sensor components required to support many motion-based use cases, the MPU-60X0 uniquely enables low-power MotionInterface applications in portable applications with reduced processing requirements for the system processor. By providing an integrated MotionFusion output, the DMP in the MPU-60X0 offloads the intensive MotionProcessing computation requirements from the system processor, minimizing the need for frequent polling of the motion sensor output.

Communication with all registers of the device is performed using either I²C at 400kHz or SPI at 1MHz (MPU-6000 only). For applications requiring faster communications, the sensor and interrupt registers may be read using SPI at 20MHz (MPU-6000 only). Additional features include an embedded temperature sensor and an on-chip oscillator with $\pm 1\%$ variation over the operating temperature range.

By leveraging its patented and volume-proven Nasiri-Fabrication platform, which integrates MEMS wafers with companion CMOS electronics through wafer-level bonding, InvenSense has driven the MPU-60X0 package size down to a revolutionary footprint of 4x4x0.9mm (QFN), while providing the highest performance, lowest noise, and the lowest cost semiconductor packaging required for handheld consumer electronic devices. The part features a robust 10,000g shock tolerance, and has programmable low-pass filters for the gyroscopes, accelerometers, and the on-chip temperature sensor.

For power supply flexibility, the MPU-60X0 operates from VDD power supply voltage range of 2.375V-3.46V. Additionally, the MPU-6050 provides a VLOGIC reference pin (in addition to its analog supply pin: VDD), which sets the logic levels of its I²C interface. The VLOGIC voltage may be $1.8V \pm 5\%$ or VDD.

The MPU-6000 and MPU-6050 are identical, except that the MPU-6050 supports the I²C serial interface only, and has a separate VLOGIC reference pin. The MPU-6000 supports both I²C and SPI interfaces and has a single supply pin, VDD, which is both the device's logic reference supply and the analog supply for the part. The table below outlines these differences:



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

Primary Differences between MPU-6000 and MPU-6050

Part / Item	MPU-6000	MPU-6050
VDD	2.375V-3.46V	2.375V-3.46V
VLOGIC	n/a	1.71V to VDD
Serial Interfaces Supported	I ² C, SPI	I ² C
Pin 8	/CS	VLOGIC
Pin 9	AD0/SDO	AD0
Pin 23	SCL/SCLK	SCL
Pin 24	SDA/SDI	SDA



4 Applications

- *BlurFree™* technology (for Video/Still Image Stabilization)
- *AirSign™* technology (for Security/Authentication)
- *TouchAnywhere™* technology (for “no touch” UI Application Control/Navigation)
- *MotionCommand™* technology (for Gesture Short-cuts)
- Motion-enabled game and application framework
- InstantGesture™ iG™ gesture recognition
- Location based services, points of interest, and dead reckoning
- Handset and portable gaming
- Motion-based game controllers
- 3D remote controls for Internet connected DTVs and set top boxes, 3D mice
- Wearable sensors for health, fitness and sports
- Toys

5 Features

5.1 Gyroscope Features

The triple-axis MEMS gyroscope in the MPU-60X0 includes a wide range of features:

- Digital-output X-, Y-, and Z-Axis angular rate sensors (gyroscopes) with a user-programmable full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and $\pm 2000^\circ/\text{sec}$
- External sync signal connected to the FSYNC pin supports image, video and GPS synchronization
- Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of gyros
- Enhanced bias and sensitivity temperature stability reduces the need for user calibration
- Improved low-frequency noise performance
- Digitally-programmable low-pass filter
- Gyroscope operating current: 3.6mA
- Standby current: 5 μ A
- Factory calibrated sensitivity scale factor
- User self-test

5.2 Accelerometer Features

The triple-axis MEMS accelerometer in MPU-60X0 includes a wide range of features:

- Digital-output triple-axis accelerometer with a programmable full scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ and $\pm 16g$
- Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of accelerometers while requiring no external multiplexer
- Accelerometer normal operating current: 500 μ A
- Low power accelerometer mode current: 10 μ A at 1.25Hz, 20 μ A at 5Hz, 60 μ A at 20Hz, 110 μ A at 40Hz
- Orientation detection and signaling
- Tap detection
- User-programmable interrupts
- High-G interrupt
- User self-test

5.3 Additional Features

The MPU-60X0 includes the following additional features:

- 9-Axis MotionFusion by the on-chip Digital Motion Processor (DMP)
- Auxiliary master I²C bus for reading data from external sensors (e.g., magnetometer)
- 3.9mA operating current when all 6 motion sensing axes and the DMP are enabled
- VDD supply voltage range of 2.375V-3.46V
- Flexible VLOGIC reference voltage supports multiple I²C interface voltages (MPU-6050 only)
- Smallest and thinnest QFN package for portable devices: 4x4x0.9mm
- Minimal cross-axis sensitivity between the accelerometer and gyroscope axes
- 1024 byte FIFO buffer reduces power consumption by allowing host processor to read the data in bursts and then go into a low-power mode as the MPU collects more data
- Digital-output temperature sensor
- User-programmable digital filters for gyroscope, accelerometer, and temp sensor
- 10,000 g shock tolerant
- 400kHz Fast Mode I²C for communicating with all registers
- 1MHz SPI serial interface for communicating with all registers (MPU-6000 only)
- 20MHz SPI serial interface for reading sensor and interrupt registers (MPU-6000 only)



- MEMS structure hermetically sealed and bonded at wafer level
- RoHS and Green compliant

5.4 MotionProcessing

- Internal Digital Motion Processing™ (DMP™) engine supports 3D MotionProcessing and gesture recognition algorithms
- The MPU-60X0 collects gyroscope and accelerometer data while synchronizing data sampling at a user defined rate. The total dataset obtained by the MPU-60X0 includes 3-Axis gyroscope data, 3-Axis accelerometer data, and temperature data. The MPU's calculated output to the system processor can also include heading data from a digital 3-axis third party magnetometer.
- The FIFO buffers the complete data set, reducing timing requirements on the system processor by allowing the processor burst read the FIFO data. After burst reading the FIFO data, the system processor can save power by entering a low-power sleep mode while the MPU collects more data.
- Programmable interrupt supports features such as gesture recognition, panning, zooming, scrolling, tap detection, and shake detection
- Digitally-programmable low-pass filters
- Low-power pedometer functionality allows the host processor to sleep while the DMP maintains the step count.

5.5 Clocking

- On-chip timing generator $\pm 1\%$ frequency variation over full temperature range
- Optional external clock inputs of 32.768kHz or 19.2MHz



6 Electrical Characteristics

6.1 Gyroscope Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
GYROSCOPE SENSITIVITY						
Full-Scale Range	FS_SEL=0		±250		°/s	
	FS_SEL=1		±500		°/s	
	FS_SEL=2		±1000		°/s	
	FS_SEL=3		±2000		°/s	
Gyroscope ADC Word Length			16		bits	
Sensitivity Scale Factor	FS_SEL=0		131		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=1		65.5		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=2		32.8		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=3		16.4		LSB/(°/s)	
Sensitivity Scale Factor Tolerance	25°C	-3		+3	%	
Sensitivity Scale Factor Variation Over Temperature			±2		%	
Nonlinearity	Best fit straight line; 25°C		0.2		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	
GYROSCOPE ZERO-RATE OUTPUT (ZRO)						
Initial ZRO Tolerance	25°C		±20		°/s	
ZRO Variation Over Temperature	-40°C to +85°C		±20		°/s	
Power-Supply Sensitivity (1-10Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (10 - 250Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (250Hz - 100kHz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		4		°/s	
Linear Acceleration Sensitivity	Static		0.1		°/s/g	
SELF-TEST RESPONSE						
Relative	Change from factory trim	-14		14	%	1
GYROSCOPE NOISE PERFORMANCE	FS_SEL=0					
Total RMS Noise	DLPCFG=2 (100Hz)		0.05		°/s-rms	
Low-frequency RMS noise	Bandwidth 1Hz to 10Hz		0.033		°/s-rms	
Rate Noise Spectral Density	At 10Hz		0.005		°/s/√Hz	
GYROSCOPE MECHANICAL FREQUENCIES						
X-Axis		30	33	36	kHz	
Y-Axis		27	30	33	kHz	
Z-Axis		24	27	30	kHz	
LOW PASS FILTER RESPONSE						
	Programmable Range	5		256	Hz	
OUTPUT DATA RATE						
	Programmable	4		8,000	Hz	
GYROSCOPE START-UP TIME						
ZRO Settling (from power-on)	DLPCFG=0 to ±1°/s of Final		30		ms	

1. Please refer to the following document for further information on Self-Test: *MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions*



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

6.2 Accelerometer Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
ACCELEROMETER SENSITIVITY						
Full-Scale Range	AFS_SEL=0		±2		g	
	AFS_SEL=1		±4		g	
	AFS_SEL=2		±8		g	
	AFS_SEL=3		±16		g	
ADC Word Length	Output in two's complement format		16		bits	
Sensitivity Scale Factor	AFS_SEL=0		16,384		LSB/g	
	AFS_SEL=1		8,192		LSB/g	
	AFS_SEL=2		4,096		LSB/g	
	AFS_SEL=3		2,048		LSB/g	
Initial Calibration Tolerance			±3		%	
Sensitivity Change vs. Temperature	AFS_SEL=0, -40°C to +85°C		±0.02		%/°C	
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.5		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	
ZERO-G OUTPUT						
Initial Calibration Tolerance	X and Y axes		±50		mg	1
	Z axis		±80		mg	
Zero-G Level Change vs. Temperature	X and Y axes, 0°C to +70°C		±35			
	Z axis, 0°C to +70°C		±60		mg	
SELF TEST RESPONSE						
Relative	Change from factory trim	-14		14	%	2
NOISE PERFORMANCE						
Power Spectral Density	@10Hz, AFS_SEL=0 & ODR=1kHz		400		μg/√Hz	
LOW PASS FILTER RESPONSE						
	Programmable Range	5		260	Hz	
OUTPUT DATA RATE						
	Programmable Range	4		1,000	Hz	
INTELLIGENCE FUNCTION INCREMENT			32		mg/LSB	

1. Typical zero-g initial calibration tolerance value after MSL3 preconditioning
2. Please refer to the following document for further information on Self-Test: *MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions*



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

6.3 Electrical and Other Common Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	Units	Notes
TEMPERATURE SENSOR						
Range			-40 to +85		°C	
Sensitivity	Untrimmed		340		LSB/°C	
Temperature Offset	35°C		-521		LSB	
Linearity	Best fit straight line (-40°C to +85°C)		±1		°C	
VDD POWER SUPPLY						
Operating Voltages		2.375		3.46	V	
Normal Operating Current	Gyroscope + Accelerometer + DMP		3.9		mA	
	Gyroscope + Accelerometer (DMP disabled)		3.8		mA	
	Gyroscope + DMP (Accelerometer disabled)		3.7		mA	
	Gyroscope only (DMP & Accelerometer disabled)		3.6		mA	
	Accelerometer only (DMP & Gyroscope disabled)		500		µA	
Accelerometer Low Power Mode Current	1.25 Hz update rate		10		µA	
	5 Hz update rate		20		µA	
	20 Hz update rate		70		µA	
	40 Hz update rate		140		µA	
Full-Chip Idle Mode Supply Current			5		µA	
Power Supply Ramp Rate	Monotonic ramp. Ramp rate is 10% to 90% of the final value			100	ms	
VLOGIC REFERENCE VOLTAGE						
Voltage Range	MPU-6050 only					
Power Supply Ramp Rate	VLOGIC must be ≤VDD at all times	1.71		VDD	V	
Normal Operating Current	Monotonic ramp. Ramp rate is 10% to 90% of the final value			3	ms	
			100		µA	
TEMPERATURE RANGE						
Specified Temperature Range	Performance parameters are not applicable beyond Specified Temperature Range	-40		+85	°C	



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

6.4 Electrical Specifications, Continued

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	Units	Notes
SERIAL INTERFACE						
SPI Operating Frequency, All Registers Read/Write	MPU-6000 only, Low Speed Characterization		100 ±10%		kHz	
	MPU-6000 only, High Speed Characterization		1 ±10%		MHz	
	MPU-6000 only		20 ±10%		MHz	
	All registers, Fast-mode			400	kHz	
I ² C Operating Frequency	All registers, Standard-mode			100	kHz	
I²C ADDRESS						
	AD0 = 0		1101000			
	AD0 = 1		1101001			
DIGITAL INPUTS (SDI/SDA, AD0, SCLK/SCL, FSYNC, /CS, CLKIN)						
V _{IH} , High Level Input Voltage	MPU-6000	0.7*VDD			V	
	MPU-6050	0.7*VLOGIC			V	
V _{IL} , Low Level Input Voltage	MPU-6000			0.3*VDD	V	
	MPU-6050			0.3*VLOGIC	V	
C _i , Input Capacitance			< 5		pF	
DIGITAL OUTPUT (SDO, INT)						
V _{OH} , High Level Output Voltage	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6000	0.9*VDD			V	
	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6050	0.9*VLOGIC			V	
V _{OL1} , LOW-Level Output Voltage	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6000			0.1*VDD	V	
	R _{LOAD} =1MΩ; MPU-6050			0.1*VLOGIC	V	
V _{OL,INT1} , INT Low-Level Output Voltage	OPEN=1, 0.3mA sink Current			0.1	V	
Output Leakage Current	OPEN=1		100		nA	
t _{INT} , INT Pulse Width	LATCH_INT_EN=0		50		μs	



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

6.5 Electrical Specifications, Continued

Typical Operating Circuit of Section 7.2, VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

Parameters	Conditions	Typical	Units	Notes
Primary I²C I/O (SCL, SDA)				
V _{IL} , LOW-Level Input Voltage	MPU-6000	-0.5 to 0.3*VDD	V	
V _{IH} , HIGH-Level Input Voltage	MPU-6000	0.7*VDD to VDD + 0.5V	V	
V _{hys} , Hysteresis	MPU-6000	0.1*VDD	V	
V _{IL} , LOW Level Input Voltage	MPU-6050	-0.5V to 0.3*VLOGIC	V	
V _{IH} , HIGH-Level Input Voltage	MPU-6050	0.7*VLOGIC to VLOGIC + 0.5V	V	
V _{hys} , Hysteresis	MPU-6050	0.1*VLOGIC	V	
V _{OL1} , LOW-Level Output Voltage	3mA sink current	0 to 0.4	V	
I _{OL} , LOW-Level Output Current	V _{OL} = 0.4V	3	mA	
	V _{OL} = 0.6V	5	mA	
Output Leakage Current		100	nA	
t _{of} , Output Fall Time from V _{IHmax} to V _{ILmax}	C _b bus capacitance in pF	20+0.1C _b to 250	ns	
C _I , Capacitance for Each I/O pin		< 10	pF	
Auxiliary I²C I/O (AUX_CL, AUX_DA)	MPU-6050: AUX_VDDIO=0			
V _{IL} , LOW-Level Input Voltage		-0.5V to 0.3*VLOGIC	V	
V _{IH} , HIGH-Level Input Voltage		0.7*VLOGIC to VLOGIC + 0.5V	V	
V _{hys} , Hysteresis		0.1*VLOGIC	V	
V _{OL1} , LOW-Level Output Voltage	VLOGIC > 2V; 1mA sink current	0 to 0.4	V	
V _{OL3} , LOW-Level Output Voltage	VLOGIC < 2V; 1mA sink current	0 to 0.2*VLOGIC	V	
I _{OL} , LOW-Level Output Current	V _{OL} = 0.4V	1	mA	
	V _{OL} = 0.6V	1	mA	
Output Leakage Current		100	nA	
t _{of} , Output Fall Time from V _{IHmax} to V _{ILmax}	C _b bus capacitance in pF	20+0.1C _b to 250	ns	
C _I , Capacitance for Each I/O pin		< 10	pF	



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

6.6 Electrical Specifications, Continued

Typical Operating Circuit of Section 7.2, VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

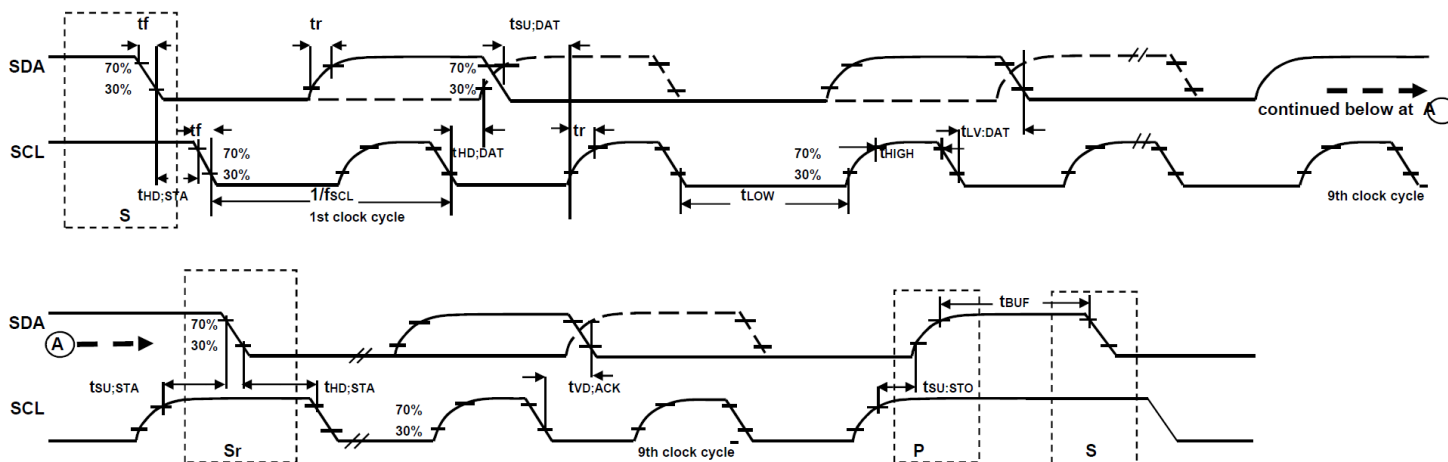
Parameters	Conditions	Min	Typical	Max	Units	Notes
INTERNAL CLOCK SOURCE	CLK_SEL=0,1,2,3					
Gyroscope Sample Rate, Fast	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		8		kHz	
Gyroscope Sample Rate, Slow	DLPFCFG=1,2,3,4,5, or 6 SAMPLERATEDIV = 0		1		kHz	
Accelerometer Sample Rate			1		kHz	
Clock Frequency Initial Tolerance	CLK_SEL=0, 25°C	-5		+5	%	
	CLK_SEL=1,2,3; 25°C	-1		+1	%	
Frequency Variation over Temperature	CLK_SEL=0		-15 to +10		%	
	CLK_SEL=1,2,3		±1		%	
PLL Settling Time	CLK_SEL=1,2,3		1	10	ms	
EXTERNAL 32.768kHz CLOCK	CLK_SEL=4					
External Clock Frequency			32.768		kHz	
External Clock Allowable Jitter	Cycle-to-cycle rms		1 to 2		µs	
Gyroscope Sample Rate, Fast	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		8.192		kHz	
Gyroscope Sample Rate, Slow	DLPFCFG=1,2,3,4,5, or 6 SAMPLERATEDIV = 0		1.024		kHz	
Accelerometer Sample Rate			1.024		kHz	
PLL Settling Time			1	10	ms	
EXTERNAL 19.2MHz CLOCK	CLK_SEL=5					
External Clock Frequency			19.2		MHz	
Gyroscope Sample Rate	Full programmable range	3.9		8000	Hz	
Gyroscope Sample Rate, Fast Mode	DLPFCFG=0 SAMPLERATEDIV = 0		8		kHz	
Gyroscope Sample Rate, Slow Mode	DLPFCFG=1,2,3,4,5, or 6 SAMPLERATEDIV = 0		1		kHz	
Accelerometer Sample Rate			1		kHz	
PLL Settling Time			1	10	ms	

6.7 I²C Timing Characterization

Typical Operating Circuit of Section 7.2, VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

Parameters	Conditions	Min	Typical	Max	Units	Notes
I²C TIMING	I²C FAST-MODE					
f _{SCL} , SCL Clock Frequency				400	kHz	
t _{HD,STA} , (Repeated) START Condition Hold Time		0.6			μs	
t _{LOW} , SCL Low Period		1.3			μs	
t _{HIGH} , SCL High Period		0.6			μs	
t _{SU,STA} , Repeated START Condition Setup Time		0.6			μs	
t _{HD,DAT} , SDA Data Hold Time		0			μs	
t _{SU,DAT} , SDA Data Setup Time		100			ns	
t _r , SDA and SCL Rise Time	C _b bus cap. from 10 to 400pF	20+0.1C _b		300	ns	
t _f , SDA and SCL Fall Time	C _b bus cap. from 10 to 400pF	20+0.1C _b		300	ns	
t _{SU,STO} , STOP Condition Setup Time		0.6			μs	
t _{BUF} , Bus Free Time Between STOP and START Condition		1.3			μs	
C _b , Capacitive Load for each Bus Line			< 400		pF	
t _{VD,DAT} , Data Valid Time				0.9	μs	
t _{VD,ACK} , Data Valid Acknowledge Time				0.9	μs	

Note: Timing Characteristics apply to both Primary and Auxiliary I²C Bus

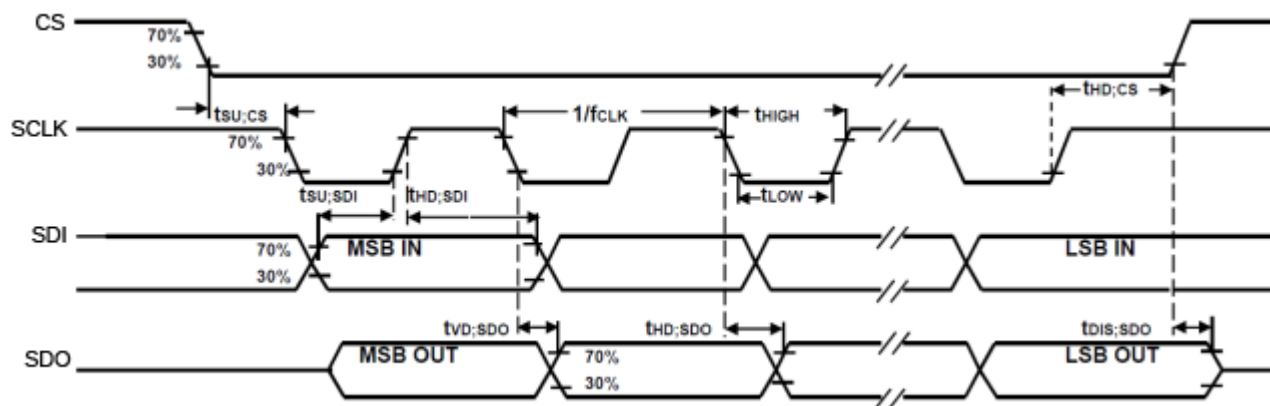


I²C Bus Timing Diagram

6.8 SPI Timing Characterization (MPU-6000 only)

Typical Operating Circuit of Section 7.2, VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C, unless otherwise noted.

Parameters	Conditions	Min	Typical	Max	Units	Notes
SPI TIMING						
f _{SCLK} , SCLK Clock Frequency				1	MHz	
t _{LOW} , SCLK Low Period		400			ns	
t _{HIGH} , SCLK High Period		400			ns	
t _{SU,CS} , CS Setup Time		8			ns	
t _{HD,CS} , CS Hold Time		500			ns	
t _{SU,SDI} , SDI Setup Time		11			ns	
t _{HD,SDI} , SDI Hold Time		7			ns	
t _{VD,SDO} , SDO Valid Time	C _{load} = 20pF			100	ns	
t _{HD,SDO} , SDO Hold Time	C _{load} = 20pF	4			ns	
t _{DIS,SDO} , SDO Output Disable Time				10	ns	



SPI Bus Timing Diagram



6.9 Absolute Maximum Ratings

Stress above those listed as “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to the absolute maximum ratings conditions for extended periods may affect device reliability.

Parameter	Rating
Supply Voltage, VDD	-0.5V to +6V
VLOGIC Input Voltage Level (MPU-6050)	-0.5V to VDD + 0.5V
REGOUT	-0.5V to 2V
Input Voltage Level (CLKIN, AUX_DA, AD0, FSYNC, INT, SCL, SDA)	-0.5V to VDD + 0.5V
CPOUT ($2.5V \leq VDD \leq 3.6V$)	-0.5V to 30V
Acceleration (Any Axis, unpowered)	10,000g for 0.2ms
Operating Temperature Range	-40°C to +105°C
Storage Temperature Range	-40°C to +125°C
Electrostatic Discharge (ESD) Protection	2kV (HBM); 250V (MM)
Latch-up	JEDEC Class II (2), 125°C $\pm 100\text{mA}$



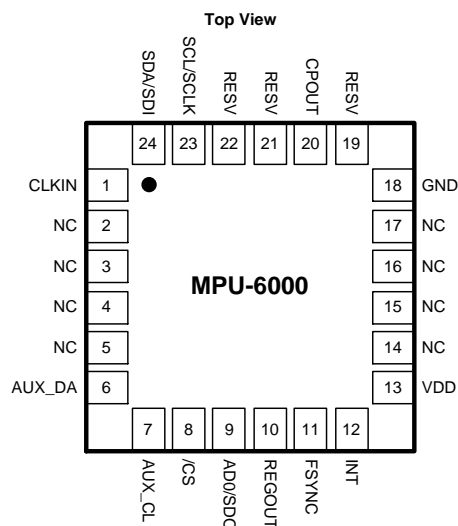
MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

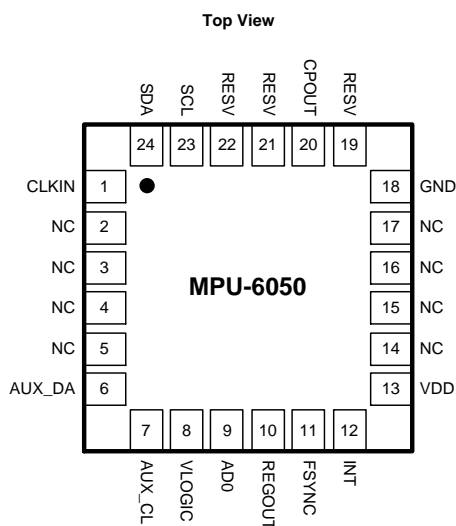
7 Applications Information

7.1 Pin Out and Signal Description

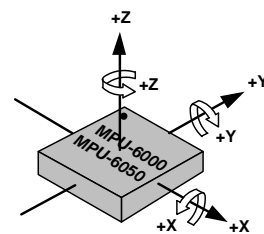
Pin Number	MPU-6000	MPU-6050	Pin Name	Pin Description
1	Y	Y	CLKIN	Optional external reference clock input. Connect to GND if unused.
6	Y	Y	AUX_DA	I ² C master serial data, for connecting to external sensors
7	Y	Y	AUX_CL	I ² C Master serial clock, for connecting to external sensors
8	Y		/CS	SPI chip select (0=SPI mode)
8		Y	VLOGIC	Digital I/O supply voltage
9	Y		AD0 / SDO	I ² C Slave Address LSB (AD0); SPI serial data output (SDO)
9		Y	AD0	I ² C Slave Address LSB (AD0)
10	Y	Y	REGOUT	Regulator filter capacitor connection
11	Y	Y	FSYNC	Frame synchronization digital input. Connect to GND if unused.
12	Y	Y	INT	Interrupt digital output (totem pole or open-drain)
13	Y	Y	VDD	Power supply voltage and Digital I/O supply voltage
18	Y	Y	GND	Power supply ground
19, 21	Y	Y	RESV	Reserved. Do not connect.
20	Y	Y	CPOUT	Charge pump capacitor connection
22	Y	Y	RESV	Reserved. Do not connect.
23	Y		SCL / SCLK	I ² C serial clock (SCL); SPI serial clock (SCLK)
23		Y	SCL	I ² C serial clock (SCL)
24	Y		SDA / SDI	I ² C serial data (SDA); SPI serial data input (SDI)
24		Y	SDA	I ² C serial data (SDA)
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17	Y	Y	NC	Not internally connected. May be used for PCB trace routing.



QFN Package
24-pin, 4mm x 4mm x 0.9mm

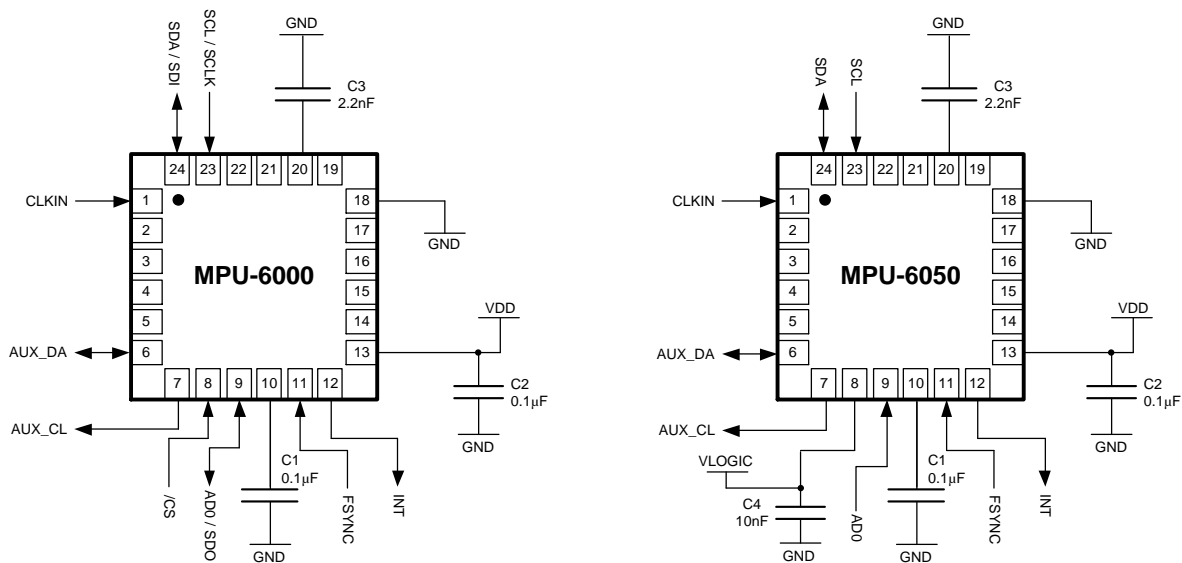


QFN Package
24-pin, 4mm x 4mm x 0.9mm



Orientation of Axes of Sensitivity and
Polarity of Rotation

7.2 Typical Operating Circuit



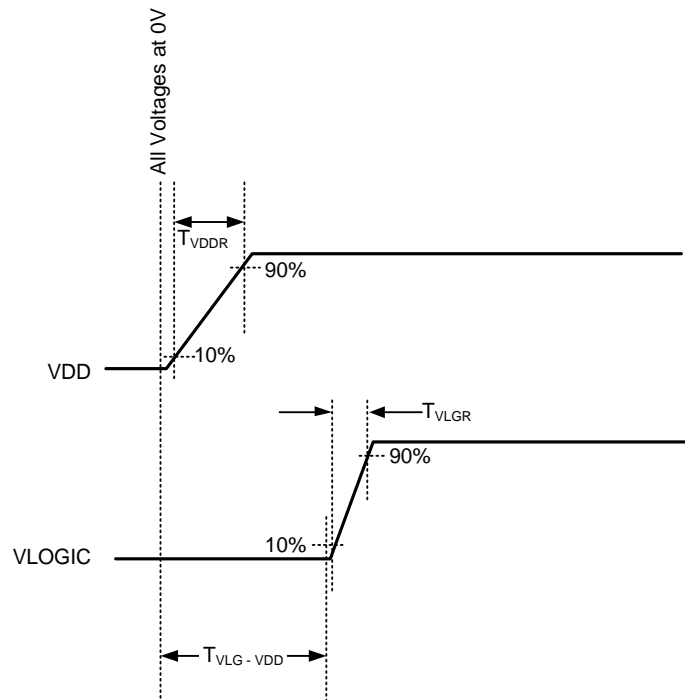
Typical Operating Circuits

7.3 Bill of Materials for External Components

Component	Label	Specification	Quantity
Regulator Filter Capacitor (Pin 10)	C1	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V	1
VDD Bypass Capacitor (Pin 13)	C2	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 4V	1
Charge Pump Capacitor (Pin 20)	C3	Ceramic, X7R, 2.2 nF \pm 10%, 50V	1
VLOGIC Bypass Capacitor (Pin 8)	C4*	Ceramic, X7R, 10 nF \pm 10%, 4V	1

* MPU-6050 Only.

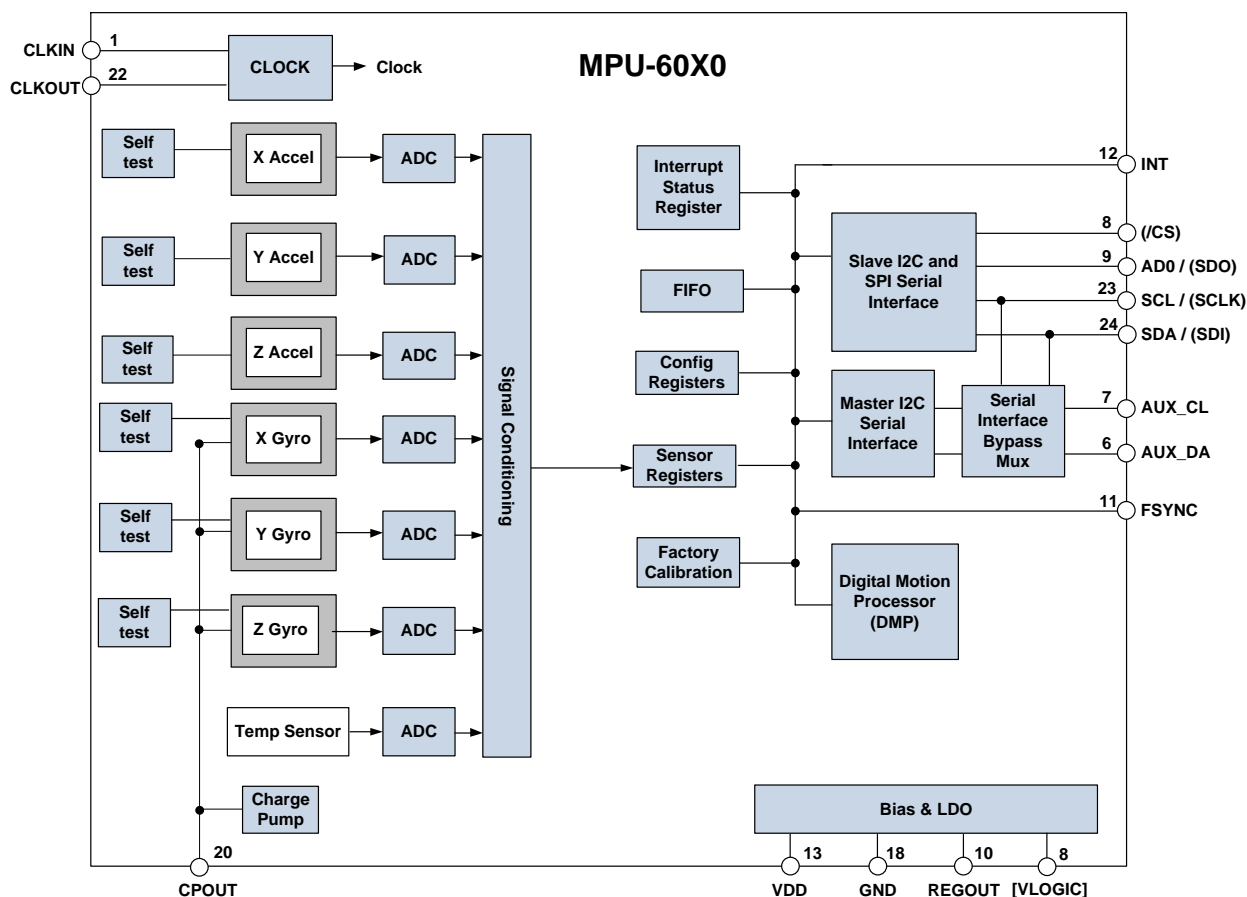
7.4 Recommended Power-on Procedure



Power-Up Sequencing

1. VLOGIC amplitude must always be $\leq VDD$ amplitude
2. T_{VDDR} is VDD rise time: Time for VDD to rise from 10% to 90% of its final value
3. T_{VDDR} is $\leq 100\text{ms}$
4. T_{VLGR} is VLOGIC rise time: Time for VLOGIC to rise from 10% to 90% of its final value
5. T_{VLGR} is $\leq 3\text{ms}$
6. $T_{VLG-VDD}$ is the delay from the start of VDD ramp to the start of VLOGIC rise
7. $T_{VLG-VDD}$ is ≥ 0
8. VDD and VLOGIC must be monotonic ramps

7.5 Block Diagram



Note: Pin names in round brackets () apply only to MPU-6000
Pin names in square brackets [] apply only to MPU-6050

7.6 Overview

The MPU-60X0 is comprised of the following key blocks and functions:

- Three-axis MEMS rate gyroscope sensor with 16-bit ADCs and signal conditioning
- Three-axis MEMS accelerometer sensor with 16-bit ADCs and signal conditioning
- Digital Motion Processor (DMP) engine
- Primary I²C and SPI (MPU-6000 only) serial communications interfaces
- Auxiliary I²C serial interface for 3rd party magnetometer & other sensors
- Clocking
- Sensor Data Registers
- FIFO
- Interrupts
- Digital-Output Temperature Sensor
- Gyroscope & Accelerometer Self-test
- Bias and LDO
- Charge Pump



7.7 Three-Axis MEMS Gyroscope with 16-bit ADCs and Signal Conditioning

The MPU-60X0 consists of three independent vibratory MEMS rate gyroscopes, which detect rotation about the X-, Y-, and Z- Axes. When the gyros are rotated about any of the sense axes, the Coriolis Effect causes a vibration that is detected by a capacitive pickoff. The resulting signal is amplified, demodulated, and filtered to produce a voltage that is proportional to the angular rate. This voltage is digitized using individual on-chip 16-bit Analog-to-Digital Converters (ADCs) to sample each axis. The full-scale range of the gyro sensors may be digitally programmed to ± 250 , ± 500 , ± 1000 , or ± 2000 degrees per second (dps). The ADC sample rate is programmable from 8,000 samples per second, down to 3.9 samples per second, and user-selectable low-pass filters enable a wide range of cut-off frequencies.

7.8 Three-Axis MEMS Accelerometer with 16-bit ADCs and Signal Conditioning

The MPU-60X0's 3-Axis accelerometer uses separate proof masses for each axis. Acceleration along a particular axis induces displacement on the corresponding proof mass, and capacitive sensors detect the displacement differentially. The MPU-60X0's architecture reduces the accelerometers' susceptibility to fabrication variations as well as to thermal drift. When the device is placed on a flat surface, it will measure 0g on the X- and Y-axes and +1g on the Z-axis. The accelerometers' scale factor is calibrated at the factory and is nominally independent of supply voltage. Each sensor has a dedicated sigma-delta ADC for providing digital outputs. The full scale range of the digital output can be adjusted to $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, or $\pm 16g$.

7.9 Digital Motion Processor

The embedded Digital Motion Processor (DMP) is located within the MPU-60X0 and offloads computation of motion processing algorithms from the host processor. The DMP acquires data from accelerometers, gyroscopes, and additional 3rd party sensors such as magnetometers, and processes the data. The resulting data can be read from the DMP's registers, or can be buffered in a FIFO. The DMP has access to one of the MPU's external pins, which can be used for generating interrupts.

The purpose of the DMP is to offload both timing requirements and processing power from the host processor. Typically, motion processing algorithms should be run at a high rate, often around 200Hz, in order to provide accurate results with low latency. This is required even if the application updates at a much lower rate; for example, a low power user interface may update as slowly as 5Hz, but the motion processing should still run at 200Hz. The DMP can be used as a tool in order to minimize power, simplify timing, simplify the software architecture, and save valuable MIPS on the host processor for use in the application.

7.10 Primary I²C and SPI Serial Communications Interfaces

The MPU-60X0 communicates to a system processor using either a SPI (MPU-6000 only) or an I²C serial interface. The MPU-60X0 always acts as a slave when communicating to the system processor. The LSB of the of the I²C slave address is set by pin 9 (AD0).

The logic levels for communications between the MPU-60X0 and its master are as follows:

- MPU-6000: The logic level for communications with the master is set by the voltage on VDD
- MPU-6050: The logic level for communications with the master is set by the voltage on VLOGIC

For further information regarding the logic levels of the MPU-6050, please refer to Section 10.



7.11 Auxiliary I²C Serial Interface

The MPU-60X0 has an auxiliary I²C bus for communicating to an off-chip 3-Axis digital output magnetometer or other sensors. This bus has two operating modes:

- I²C Master Mode: The MPU-60X0 acts as a master to any external sensors connected to the auxiliary I²C bus
- Pass-Through Mode: The MPU-60X0 directly connects the primary and auxiliary I²C buses together, allowing the system processor to directly communicate with any external sensors.

Auxiliary I²C Bus Modes of Operation:

- I²C Master Mode: Allows the MPU-60X0 to directly access the data registers of external digital sensors, such as a magnetometer. In this mode, the MPU-60X0 directly obtains data from auxiliary sensors, allowing the on-chip DMP to generate sensor fusion data without intervention from the system applications processor.

For example, In I²C Master mode, the MPU-60X0 can be configured to perform burst reads, returning the following data from a magnetometer:

- X magnetometer data (2 bytes)
- Y magnetometer data (2 bytes)
- Z magnetometer data (2 bytes)

The I²C Master can be configured to read up to 24 bytes from up to 4 auxiliary sensors. A fifth sensor can be configured to work single byte read/write mode.

- Pass-Through Mode: Allows an external system processor to act as master and directly communicate to the external sensors connected to the auxiliary I²C bus pins (AUX_DA and AUX_CL). In this mode, the auxiliary I²C bus control logic (3rd party sensor interface block) of the MPU-60X0 is disabled, and the auxiliary I²C pins AUX_DA and AUX_CL (Pins 6 and 7) are connected to the main I²C bus (Pins 23 and 24) through analog switches.

Pass-Through Mode is useful for configuring the external sensors, or for keeping the MPU-60X0 in a low-power mode when only the external sensors are used.

In Pass-Through Mode the system processor can still access MPU-60X0 data through the I²C interface.

Auxiliary I²C Bus IO Logic Levels

- MPU-6000: The logic level of the auxiliary I²C bus is VDD
- MPU-6050: The logic level of the auxiliary I²C bus can be programmed to be either VDD or VLOGIC

For further information regarding the MPU-6050's logic levels, please refer to Section 10.2.



7.12 Self-Test

Please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document for more details on self test.

Self-test allows for the testing of the mechanical and electrical portions of the sensors. The self-test for each measurement axis can be activated by means of the gyroscope and accelerometer self-test registers (registers 13 to 16).

When self-test is activated, the electronics cause the sensors to be actuated and produce an output signal. The output signal is used to observe the self-test response.

The self-test response is defined as follows:

Self-test response = Sensor output with self-test enabled – Sensor output without self-test enabled

The self-test response for each accelerometer axis is defined in the accelerometer specification table (Section 6.2), while that for each gyroscope axis is defined in the gyroscope specification table (Section 6.1).

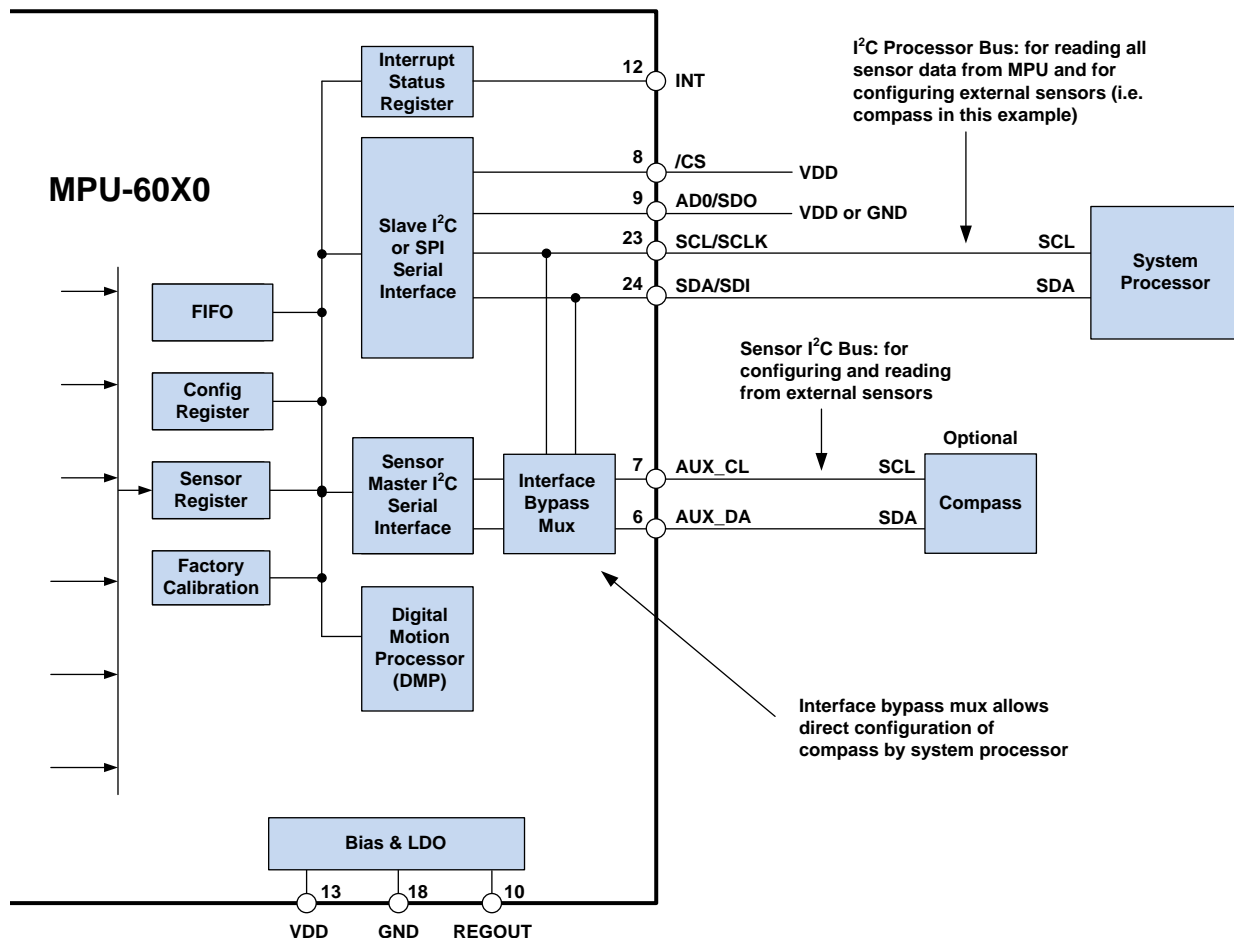
When the value of the self-test response is within the min/max limits of the product specification, the part has passed self test. When the self-test response exceeds the min/max values, the part is deemed to have failed self-test. Code for operating self test code is included within the MotionApps software provided by InvenSense.

7.13 MPU-60X0 Solution for 9-axis Sensor Fusion Using I²C Interface

In the figure below, the system processor is an I²C master to the MPU-60X0. In addition, the MPU-60X0 is an I²C master to the optional external compass sensor. The MPU-60X0 has limited capabilities as an I²C Master, and depends on the system processor to manage the initial configuration of any auxiliary sensors. The MPU-60X0 has an interface bypass multiplexer, which connects the system processor I²C bus pins 23 and 24 (SDA and SCL) directly to the auxiliary sensor I²C bus pins 6 and 7 (AUX_DA and AUX_CL).

Once the auxiliary sensors have been configured by the system processor, the interface bypass multiplexer should be disabled so that the MPU-60X0 auxiliary I²C master can take control of the sensor I²C bus and gather data from the auxiliary sensors.

For further information regarding I²C master control, please refer to Section 10.



7.14 MPU-6000 Using SPI Interface

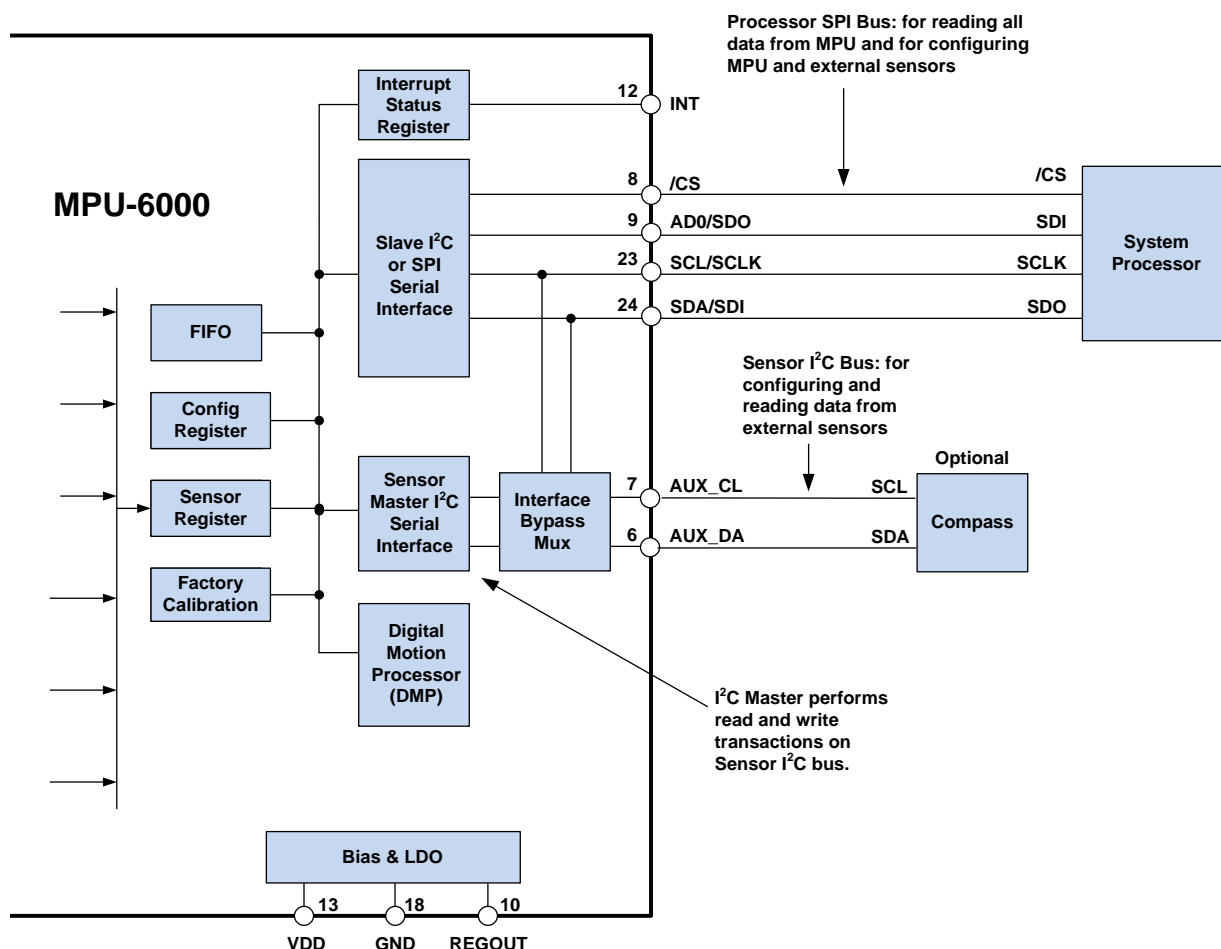
In the figure below, the system processor is an SPI master to the MPU-6000. Pins 8, 9, 23, and 24 are used to support the /CS, SDO, SCLK, and SDI signals for SPI communications. Because these SPI pins are shared with the I²C slave pins (9, 23 and 24), the system processor cannot access the auxiliary I²C bus through the interface bypass multiplexer, which connects the processor I²C interface pins to the sensor I²C interface pins.

Since the MPU-6000 has limited capabilities as an I²C Master, and depends on the system processor to manage the initial configuration of any auxiliary sensors, another method must be used for programming the sensors on the auxiliary sensor I²C bus pins 6 and 7 (AUX_DA and AUX_CL).

When using SPI communications between the MPU-6000 and the system processor, configuration of devices on the auxiliary I²C sensor bus can be achieved by using I²C Slaves 0-4 to perform read and write transactions on any device and register on the auxiliary I²C bus. The I²C Slave 4 interface can be used to perform only single byte read and write transactions.

Once the external sensors have been configured, the MPU-6000 can perform single or multi-byte reads using the sensor I²C bus. The read results from the Slave 0-3 controllers can be written to the FIFO buffer as well as to the external sensor registers.

For further information regarding the control of the MPU-60X0's auxiliary I²C interface, please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document.





7.15 Internal Clock Generation

The MPU-60X0 has a flexible clocking scheme, allowing a variety of internal or external clock sources to be used for the internal synchronous circuitry. This synchronous circuitry includes the signal conditioning and ADCs, the DMP, and various control circuits and registers. An on-chip PLL provides flexibility in the allowable inputs for generating this clock.

Allowable internal sources for generating the internal clock are:

- An internal relaxation oscillator
- Any of the X, Y, or Z gyros (MEMS oscillators with a variation of $\pm 1\%$ over temperature)

Allowable external clocking sources are:

- 32.768kHz square wave
- 19.2MHz square wave

Selection of the source for generating the internal synchronous clock depends on the availability of external sources and the requirements for power consumption and clock accuracy. These requirements will most likely vary by mode of operation. For example, in one mode, where the biggest concern is power consumption, the user may wish to operate the Digital Motion Processor of the MPU-60X0 to process accelerometer data, while keeping the gyros off. In this case, the internal relaxation oscillator is a good clock choice. However, in another mode, where the gyros are active, selecting the gyros as the clock source provides for a more accurate clock source.

Clock accuracy is important, since timing errors directly affect the distance and angle calculations performed by the Digital Motion Processor (and by extension, by any processor).

There are also start-up conditions to consider. When the MPU-60X0 first starts up, the device uses its internal clock until programmed to operate from another source. This allows the user, for example, to wait for the MEMS oscillators to stabilize before they are selected as the clock source.

7.16 Sensor Data Registers

The sensor data registers contain the latest gyro, accelerometer, auxiliary sensor, and temperature measurement data. They are read-only registers, and are accessed via the serial interface. Data from these registers may be read anytime. However, the interrupt function may be used to determine when new data is available.

For a table of interrupt sources please refer to Section 8.

7.17 FIFO

The MPU-60X0 contains a 1024-byte FIFO register that is accessible via the Serial Interface. The FIFO configuration register determines which data is written into the FIFO. Possible choices include gyro data, accelerometer data, temperature readings, auxiliary sensor readings, and FSYNC input. A FIFO counter keeps track of how many bytes of valid data are contained in the FIFO. The FIFO register supports burst reads. The interrupt function may be used to determine when new data is available.

For further information regarding the FIFO, please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document.

7.18 Interrupts

Interrupt functionality is configured via the Interrupt Configuration register. Items that are configurable include the INT pin configuration, the interrupt latching and clearing method, and triggers for the interrupt. Items that can trigger an interrupt are (1) Clock generator locked to new reference oscillator (used when switching clock



sources); (2) new data is available to be read (from the FIFO and Data registers); (3) accelerometer event interrupts; and (4) the MPU-60X0 did not receive an acknowledge from an auxiliary sensor on the secondary I²C bus. The interrupt status can be read from the Interrupt Status register.

For further information regarding interrupts, please refer to the MPU-60X0 Register Map and Register Descriptions document.

For information regarding the MPU-60X0's accelerometer event interrupts, please refer to Section 8.

7.19 Digital-Output Temperature Sensor

An on-chip temperature sensor and ADC are used to measure the MPU-60X0 die temperature. The readings from the ADC can be read from the FIFO or the Sensor Data registers.

7.20 Bias and LDO

The bias and LDO section generates the internal supply and the reference voltages and currents required by the MPU-60X0. Its two inputs are an unregulated VDD of 2.375 to 3.46V and a VLOGIC logic reference supply voltage of 1.71V to VDD (MPU-6050 only). The LDO output is bypassed by a capacitor at REGOUT. For further details on the capacitor, please refer to the Bill of Materials for External Components (Section 7.3).

7.21 Charge Pump

An on-board charge pump generates the high voltage required for the MEMS oscillators. Its output is bypassed by a capacitor at CPOUT. For further details on the capacitor, please refer to the Bill of Materials for External Components (Section 7.3).



8 Programmable Interrupts

The MPU-60X0 has a programmable interrupt system which can generate an interrupt signal on the INT pin. Status flags indicate the source of an interrupt. Interrupt sources may be enabled and disabled individually.

Table of Interrupt Sources

Interrupt Name	Module
FIFO Overflow	FIFO
Data Ready	Sensor Registers
I ² C Master errors: Lost Arbitration, NACKs	I ² C Master
I ² C Slave 4	I ² C Master

For information regarding the interrupt enable/disable registers and flag registers, please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document. Some interrupt sources are explained below.



9 Digital Interface

9.1 I²C and SPI (MPU-6000 only) Serial Interfaces

The internal registers and memory of the MPU-6000/MPU-6050 can be accessed using either I²C at 400 kHz or SPI at 1MHz (MPU-6000 only). SPI operates in four-wire mode.

Serial Interface

Pin Number	MPU-6000	MPU-6050	Pin Name	Pin Description
8	Y		/CS	SPI chip select (0=SPI enable)
8		Y	VLOGIC	Digital I/O supply voltage. VLOGIC must be \leq VDD at all times.
9	Y		AD0 / SDO	I ² C Slave Address LSB (AD0); SPI serial data output (SDO)
9		Y	AD0	I ² C Slave Address LSB
23	Y		SCL / SCLK	I ² C serial clock (SCL); SPI serial clock (SCLK)
23		Y	SCL	I ² C serial clock
24	Y		SDA / SDI	I ² C serial data (SDA); SPI serial data input (SDI)
24		Y	SDA	I ² C serial data

Note:

To prevent switching into I²C mode when using SPI (MPU-6000), the I²C interface should be disabled by setting the *I2C_IF_DIS* configuration bit. Setting this bit should be performed immediately after waiting for the time specified by the “Start-Up Time for Register Read/Write” in Section 6.3.

For further information regarding the *I2C_IF_DIS* bit, please refer to the MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Register Descriptions document.

9.2 I²C Interface

I²C is a two-wire interface comprised of the signals serial data (SDA) and serial clock (SCL). In general, the lines are open-drain and bi-directional. In a generalized I²C interface implementation, attached devices can be a master or a slave. The master device puts the slave address on the bus, and the slave device with the matching address acknowledges the master.

The MPU-60X0 always operates as a slave device when communicating to the system processor, which thus acts as the master. SDA and SCL lines typically need pull-up resistors to VDD. The maximum bus speed is 400 kHz.

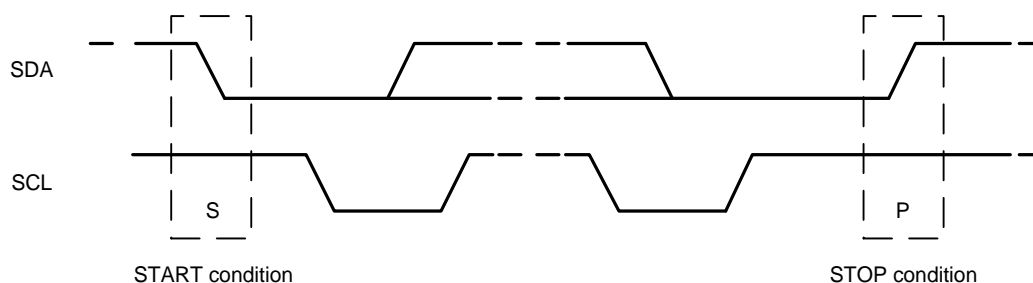
The slave address of the MPU-60X0 is b110100X which is 7 bits long. The LSB bit of the 7 bit address is determined by the logic level on pin AD0. This allows two MPU-60X0s to be connected to the same I²C bus. When used in this configuration, the address of the one of the devices should be b1101000 (pin AD0 is logic low) and the address of the other should be b1101001 (pin AD0 is logic high).

9.3 I²C Communications Protocol

START (S) and STOP (P) Conditions

Communication on the I²C bus starts when the master puts the START condition (S) on the bus, which is defined as a HIGH-to-LOW transition of the SDA line while SCL line is HIGH (see figure below). The bus is considered to be busy until the master puts a STOP condition (P) on the bus, which is defined as a LOW to HIGH transition on the SDA line while SCL is HIGH (see figure below).

Additionally, the bus remains busy if a repeated START (Sr) is generated instead of a STOP condition.

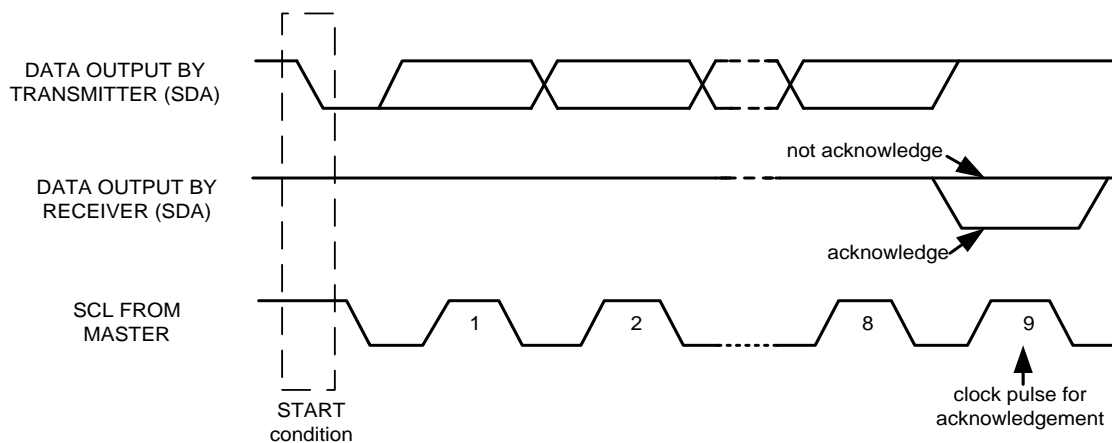


START and STOP Conditions

Data Format / Acknowledge

I²C data bytes are defined to be 8-bits long. There is no restriction to the number of bytes transmitted per data transfer. Each byte transferred must be followed by an acknowledge (ACK) signal. The clock for the acknowledge signal is generated by the master, while the receiver generates the actual acknowledge signal by pulling down SDA and holding it low during the HIGH portion of the acknowledge clock pulse.

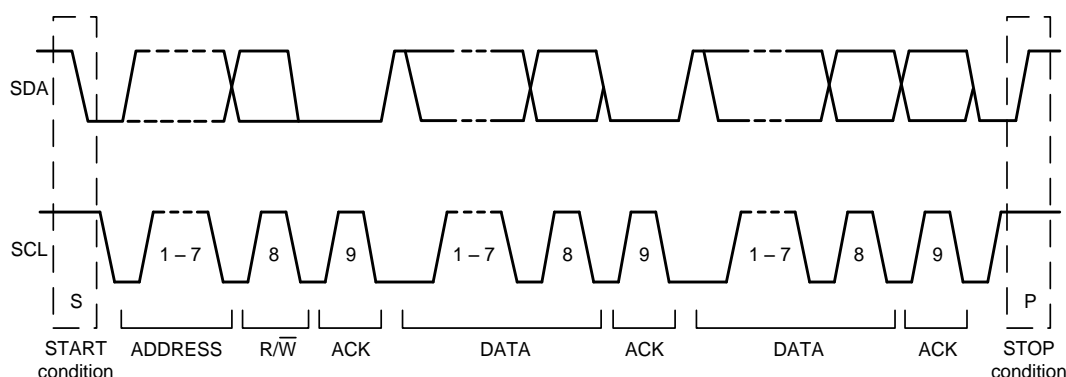
If a slave is busy and cannot transmit or receive another byte of data until some other task has been performed, it can hold SCL LOW, thus forcing the master into a wait state. Normal data transfer resumes when the slave is ready, and releases the clock line (refer to the following figure).



Acknowledge on the I²C Bus

Communications

After beginning communications with the START condition (S), the master sends a 7-bit slave address followed by an 8th bit, the read/write bit. The read/write bit indicates whether the master is receiving data from or is writing to the slave device. Then, the master releases the SDA line and waits for the acknowledge signal (ACK) from the slave device. Each byte transferred must be followed by an acknowledge bit. To acknowledge, the slave device pulls the SDA line LOW and keeps it LOW for the high period of the SCL line. Data transmission is always terminated by the master with a STOP condition (P), thus freeing the communications line. However, the master can generate a repeated START condition (Sr), and address another slave without first generating a STOP condition (P). A LOW to HIGH transition on the SDA line while SCL is HIGH defines the stop condition. All SDA changes should take place when SCL is low, with the exception of start and stop conditions.



Complete I²C Data Transfer

To write the internal MPU-60X0 registers, the master transmits the start condition (S), followed by the I²C address and the write bit (0). At the 9th clock cycle (when the clock is high), the MPU-60X0 acknowledges the transfer. Then the master puts the register address (RA) on the bus. After the MPU-60X0 acknowledges the reception of the register address, the master puts the register data onto the bus. This is followed by the ACK signal, and data transfer may be concluded by the stop condition (P). To write multiple bytes after the last ACK signal, the master can continue outputting data rather than transmitting a stop signal. In this case, the MPU-60X0 automatically increments the register address and loads the data to the appropriate register. The following figures show single and two-byte write sequences.

Single-Byte Write Sequence

Master	S	AD+W		RA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK	

Burst Write Sequence

Master	S	AD+W		RA		DATA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK		ACK	



To read the internal MPU-60X0 registers, the master sends a start condition, followed by the I²C address and a write bit, and then the register address that is going to be read. Upon receiving the ACK signal from the MPU-60X0, the master transmits a start signal followed by the slave address and read bit. As a result, the MPU-60X0 sends an ACK signal and the data. The communication ends with a not acknowledge (NACK) signal and a stop bit from master. The NACK condition is defined such that the SDA line remains high at the 9th clock cycle. The following figures show single and two-byte read sequences.

Single-Byte Read Sequence

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		

Burst Read Sequence

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			ACK		NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA		

9.4 I²C Terms

Signal	Description
S	Start Condition: SDA goes from high to low while SCL is high
AD	Slave I ² C address
W	Write bit (0)
R	Read bit (1)
ACK	Acknowledge: SDA line is low while the SCL line is high at the 9 th clock cycle
NACK	Not-Acknowledge: SDA line stays high at the 9 th clock cycle
RA	MPU-60X0 internal register address
DATA	Transmit or received data
P	Stop condition: SDA going from low to high while SCL is high

9.5 SPI Interface (MPU-6000 only)

SPI is a 4-wire synchronous serial interface that uses two control lines and two data lines. The MPU-6000 always operates as a Slave device during standard Master-Slave SPI operation.

With respect to the Master, the Serial Clock output (SCLK), the Serial Data Output (SDO) and the Serial Data Input (SDI) are shared among the Slave devices. Each SPI slave device requires its own Chip Select (/CS) line from the master.

/CS goes low (active) at the start of transmission and goes back high (inactive) at the end. Only one /CS line is active at a time, ensuring that only one slave is selected at any given time. The /CS lines of the non-selected slave devices are held high, causing their SDO lines to remain in a high-impedance (high-z) state so that they do not interfere with any active devices.

SPI Operational Features

1. Data is delivered MSB first and LSB last
2. Data is latched on the rising edge of SCLK
3. Data should be transitioned on the falling edge of SCLK
4. The maximum frequency of SCLK is 1MHz
5. SPI read and write operations are completed in 16 or more clock cycles (two or more bytes). The first byte contains the SPI Address, and the following byte(s) contain(s) the SPI data. The first bit of the first byte contains the Read/Write bit and indicates the Read (1) or Write (0) operation. The following 7 bits contain the Register Address. In cases of multiple-byte Read/Writes, data is two or more bytes:

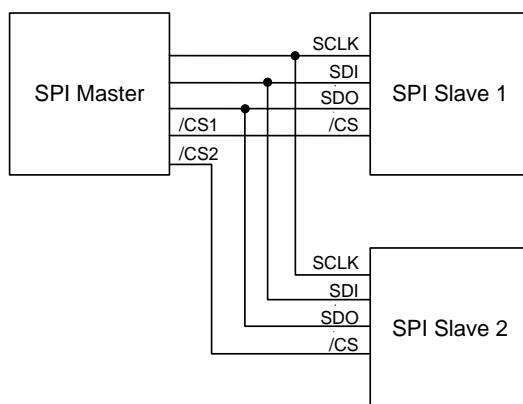
SPI Address format

MSB							LSB
R/W	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

SPI Data format

MSB							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

6. Supports Single or Burst Read/Writes.



Typical SPI Master / Slave Configuration



10 Serial Interface Considerations (MPU-6050)

10.1 MPU-6050 Supported Interfaces

The MPU-6050 supports I²C communications on both its primary (microprocessor) serial interface and its auxiliary interface.

10.2 Logic Levels

The MPU-6050's I/O logic levels are set to be VLOGIC, as shown in the table below. AUX_VDDIO must be set to 0.

I/O Logic Levels vs. *AUX_VDDIO*

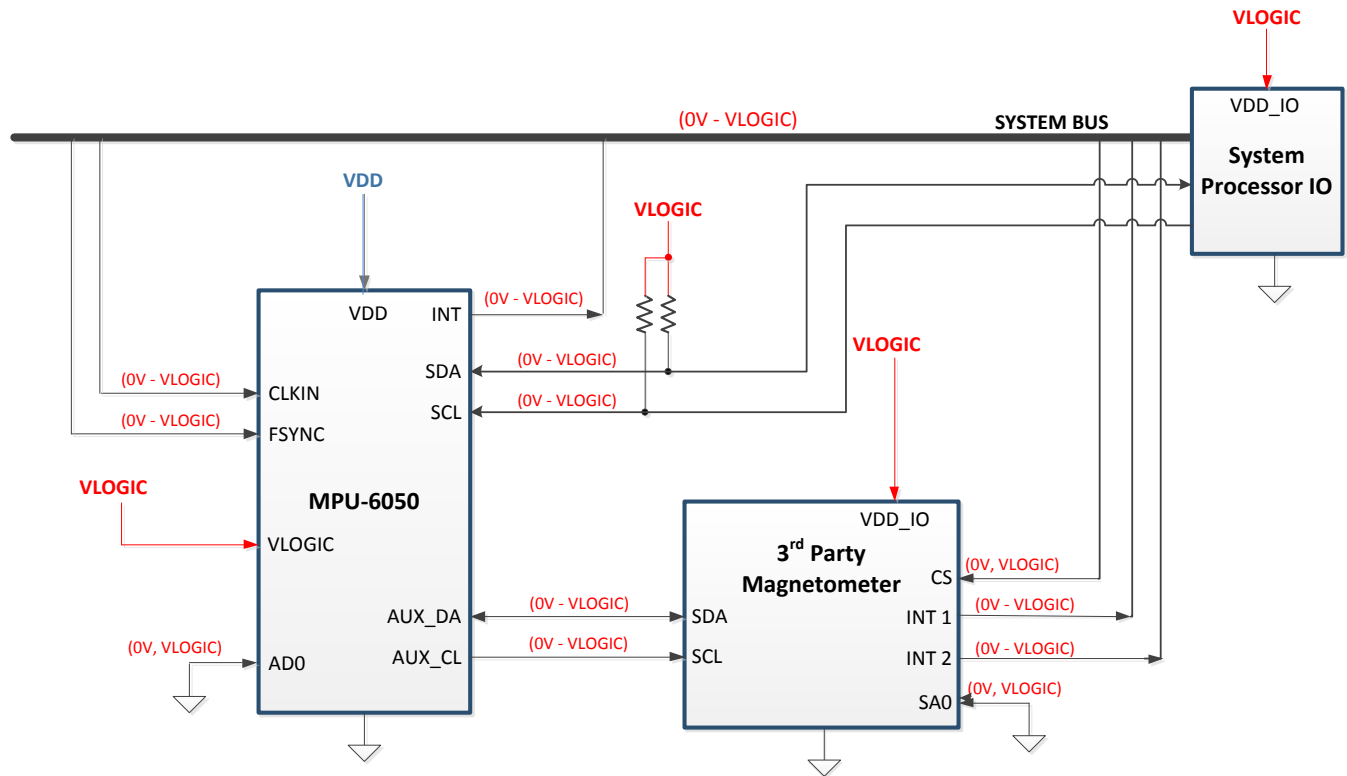
<i>AUX_VDDIO</i>	MICROPROCESSOR LOGIC LEVELS (Pins: SDA, SCL, AD0, CLKIN, INT)	AUXILIARY LOGIC LEVELS (Pins: AUX_DA, AUX_CL)
0	VLOGIC	VLOGIC

Note: The power-on-reset value for *AUX_VDDIO* is 0.

When *AUX_VDDIO* is set to 0 (its power-on-reset value), VLOGIC is the power supply voltage for both the microprocessor system bus and the auxiliary I²C bus, as shown in the figure of Section 10.3.

10.3 Logic Levels Diagram for AUX_VDDIO = 0

The figure below depicts a sample circuit with a third party magnetometer attached to the auxiliary I²C bus. It shows logic levels and voltage connections for AUX_VDDIO = 0. Note: Actual configuration will depend on the auxiliary sensors used.



I/O Levels and Connections for AUX_VDDIO = 0

Notes:

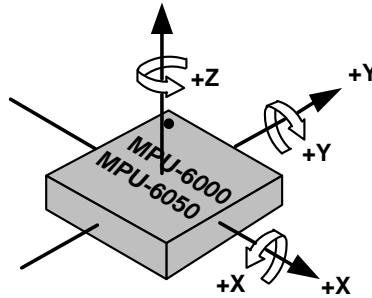
1. AUX_VDDIO determines the IO voltage levels of AUX_DA and AUX_CL (0 = set output levels relative to VLOGIC)
2. All other MPU-6050 logic IOs are referenced to VLOGIC.

11 Assembly

This section provides general guidelines for assembling InvenSense Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) gyros packaged in Quad Flat No leads package (QFN) surface mount integrated circuits.

11.1 Orientation of Axes

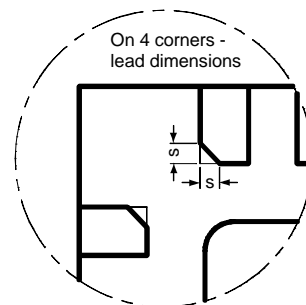
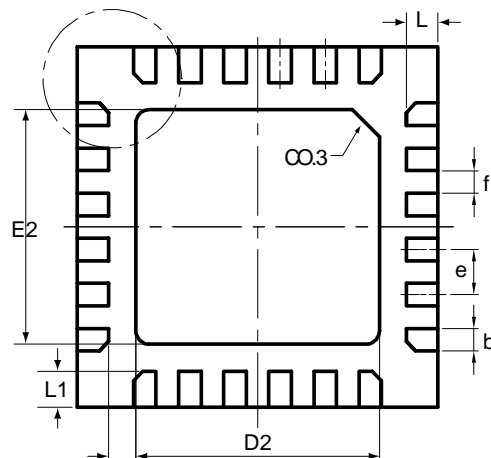
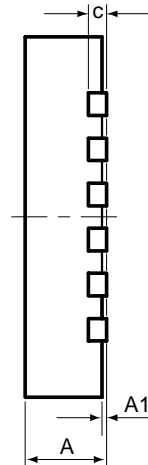
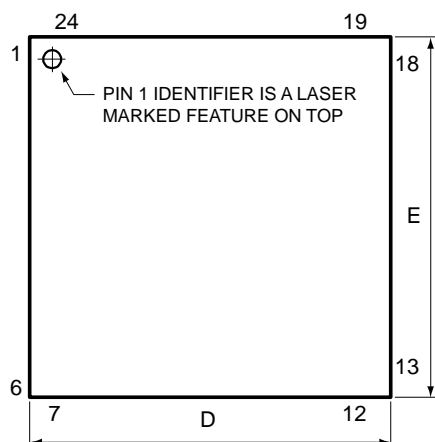
The diagram below shows the orientation of the axes of sensitivity and the polarity of rotation. Note the pin 1 identifier (•) in the figure.



**Orientation of Axes of Sensitivity and
Polarity of Rotation**

11.2 Package Dimensions

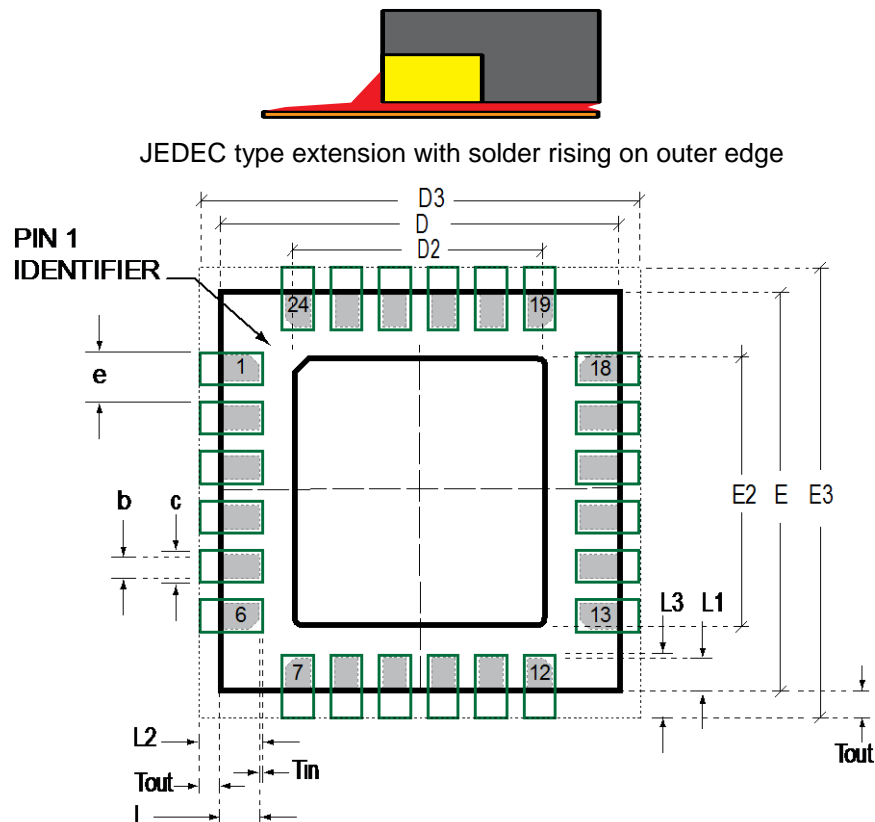
24 Lead QFN (4x4x0.9) mm NiPdAu Lead-frame finish



SYMBOLS	DIMENSIONS IN MILLIMETERS		
	MIN	NOM	MAX
A	0.85	0.90	0.95
A1	0.00	0.02	0.05
b	0.18	0.25	0.30
c	---	0.20 REF	---
D	3.90	4.00	4.10
D2	2.65	2.70	2.75
E	3.90	4.00	4.10
E2	2.55	2.60	2.65
e	---	0.50	---
f (e-b)	---	0.25	---
K	0.25	0.30	0.35
L	0.30	0.35	0.40
L1	0.35	0.40	0.45
s	0.05	---	0.15

11.3 PCB Design Guidelines

The Pad Diagram using a JEDEC type extension with solder rising on the outer edge is shown below. The Pad Dimensions Table shows pad sizing (mean dimensions) recommended for the MPU-60X0 product.



PCB Layout Diagram

SYMBOLS	DIMENSIONS IN MILLIMETERS	NOM
Nominal Package I/O Pad Dimensions		
e	Pad Pitch	0.50
b	Pad Width	0.25
L	Pad Length	0.35
L1	Pad Length	0.40
D	Package Width	4.00
E	Package Length	4.00
D2	Exposed Pad Width	2.70
E2	Exposed Pad Length	2.60
I/O Land Design Dimensions (Guidelines)		
D3	I/O Pad Extent Width	4.80
E3	I/O Pad Extent Length	4.80
c	Land Width	0.35
Tout	Outward Extension	0.40
Tin	Inward Extension	0.05
L2	Land Length	0.80
L3	Land Length	0.85

PCB Dimensions Table (for PCB Lay-out Diagram)



11.4 Assembly Precautions

11.4.1 Gyroscope Surface Mount Guidelines

InvenSense MEMS Gyros sense rate of rotation. In addition, gyroscopes sense mechanical stress coming from the printed circuit board (PCB). This PCB stress can be minimized by adhering to certain design rules:

When using MEMS gyroscope components in plastic packages, PCB mounting and assembly can cause package stress. This package stress in turn can affect the output offset and its value over a wide range of temperatures. This stress is caused by the mismatch between the Coefficient of Linear Thermal Expansion (CTE) of the package material and the PCB. Care must be taken to avoid package stress due to mounting.

Traces connected to pads should be as symmetric as possible. Maximizing symmetry and balance for pad connection will help component self alignment and will lead to better control of solder paste reduction after reflow.

Any material used in the surface mount assembly process of the MEMS gyroscope should be free of restricted RoHS elements or compounds. Pb-free solders should be used for assembly.

11.4.2 Exposed Die Pad Precautions

The MPU-60X0 has very low active and standby current consumption. The exposed die pad is not required for heat sinking, and should not be soldered to the PCB. Failure to adhere to this rule can induce performance changes due to package thermo-mechanical stress. There is no electrical connection between the pad and the CMOS.

11.4.3 Trace Routing

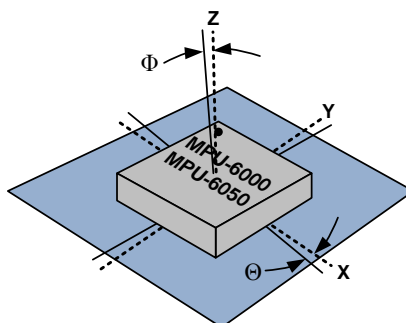
Routing traces or vias under the gyro package such that they run under the exposed die pad is prohibited. Routed active signals may harmonically couple with the gyro MEMS devices, compromising gyro response. These devices are designed with the drive frequencies as follows: $X = 33 \pm 3\text{KHz}$, $Y = 30 \pm 3\text{KHz}$, and $Z = 27 \pm 3\text{KHz}$. To avoid harmonic coupling don't route active signals in non-shielded signal planes directly below, or above the gyro package. Note: For best performance, design a ground plane under the e-pad to reduce PCB signal noise from the board on which the gyro device is mounted. If the gyro device is stacked under an adjacent PCB board, design a ground plane directly above the gyro device to shield active signals from the adjacent PCB board.

11.4.4 Component Placement

Do not place large insertion components such as keyboard or similar buttons, connectors, or shielding boxes at a distance of less than 6 mm from the MEMS gyro. Maintain generally accepted industry design practices for component placement near the MPU-60X0 to prevent noise coupling and thermo-mechanical stress.

11.4.5 PCB Mounting and Cross-Axis Sensitivity

Orientation errors of the gyroscope and accelerometer mounted to the printed circuit board can cause cross-axis sensitivity in which one gyro or accel responds to rotation or acceleration about another axis, respectively. For example, the X-axis gyroscope may respond to rotation about the Y or Z axes. The orientation mounting errors are illustrated in the figure below.



Package Gyro & Accel Axes (---) Relative to PCB Axes (—) with Orientation Errors (Θ and Φ)

The table below shows the cross-axis sensitivity as a percentage of the gyroscope or accelerometer's sensitivity for a given orientation error, respectively.

Cross-Axis Sensitivity vs. Orientation Error	
Orientation Error (θ or Φ)	Cross-Axis Sensitivity ($\sin\theta$ or $\sin\Phi$)
0°	0%
0.5°	0.87%
1°	1.75%

The specifications for cross-axis sensitivity in Section 6.1 and Section 6.2 include the effect of the die orientation error with respect to the package.

11.4.6 MEMS Handling Instructions

MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) are a time-proven, robust technology used in hundreds of millions of consumer, automotive and industrial products. MEMS devices consist of microscopic moving mechanical structures. They differ from conventional IC products, even though they can be found in similar packages. Therefore, MEMS devices require different handling precautions than conventional ICs prior to mounting onto printed circuit boards (PCBs).

The MPU-60X0 has been qualified to a shock tolerance of 10,000g. InvenSense packages its gyroscopes as it deems proper for protection against normal handling and shipping. It recommends the following handling precautions to prevent potential damage.

- Do not drop individually packaged gyroscopes, or trays of gyroscopes onto hard surfaces. Components placed in trays could be subject to g-forces in excess of 10,000g if dropped.
- Printed circuit boards that incorporate mounted gyroscopes should not be separated by manually snapping apart. This could also create g-forces in excess of 10,000g.
- Do not clean MEMS gyroscopes in ultrasonic baths. Ultrasonic baths can induce MEMS damage if the bath energy causes excessive drive motion through resonant frequency coupling.

11.4.7 ESD Considerations

Establish and use ESD-safe handling precautions when unpacking and handling ESD-sensitive devices.

- Store ESD sensitive devices in ESD safe containers until ready for use. The Tape-and-Reel moisture-sealed bag is an ESD approved barrier. The best practice is to keep the units in the original moisture sealed bags until ready for assembly.

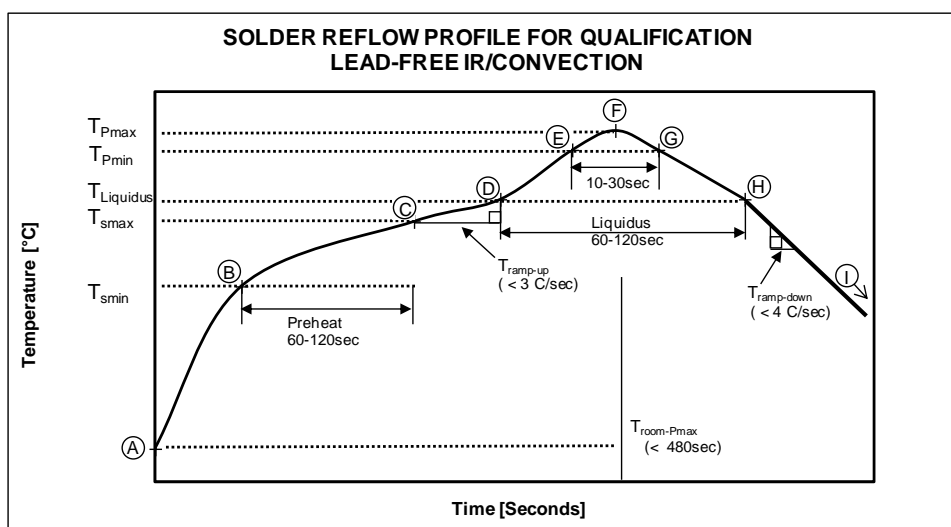
Restrict all device handling to ESD protected work areas that measure less than 200V static charge. Ensure that all workstations and personnel are properly grounded to prevent ESD.

11.4.8 Reflow Specification

Qualification Reflow: The MPU-60X0 was qualified in accordance with IPC/JEDEC J-STD-020D.1. This standard classifies proper packaging, storage and handling in order to avoid subsequent thermal and mechanical damage during the solder reflow attachment phase of PCB assembly.

The qualification preconditioning process specifies a sequence consisting of a bake cycle, a moisture soak cycle (in a temperature humidity oven), and three consecutive solder reflow cycles, followed by functional device testing.

The peak solder reflow classification temperature requirement for package qualification is $(260 \pm 5/-0^{\circ}\text{C})$ for lead-free soldering of components measuring less than 1.6 mm in thickness. The qualification profile and a table explaining the set-points are shown below:





MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

Temperature Set Points Corresponding to Reflow Profile Above

Step	Setting	CONSTRAINTS		
		Temp (°C)	Time (sec)	Max. Rate (°C/sec)
A	T _{room}	25		
B	T _{Smin}	150		
C	T _{Smax}	200	60 < t _{BC} < 120	
D	T _{Liquidus}	217		r(T _{Liquidus} -T _{Pmax}) < 3
E	T _{Pmin} [255°C, 260°C]	255		r(T _{Liquidus} -T _{Pmax}) < 3
F	T _{Pmax} [260°C, 265°C]	260	t _{AF} < 480	r(T _{Liquidus} -T _{Pmax}) < 3
G	T _{Pmin} [255°C, 260°C]	255	10 < t _{EG} < 30	r(T _{Pmax} -T _{Liquidus}) < 4
H	T _{Liquidus}	217	60 < t _{DH} < 120	
I	T _{room}	25		

Notes: Customers must never exceed the Classification temperature (T_{Pmax} = 260°C).
All temperatures refer to the topside of the QFN package, as measured on the package body surface.

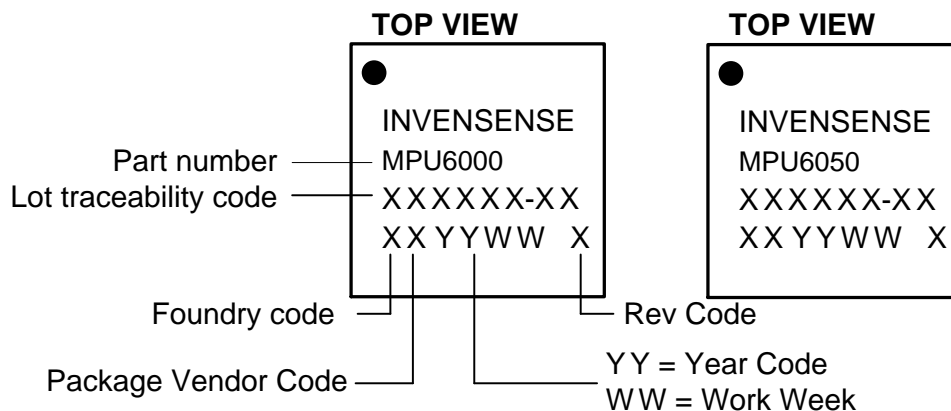
Production Reflow: Check the recommendations of your solder manufacturer. For optimum results, use lead-free solders that have lower specified temperature profiles (T_{pmax} ~ 235°C). Also use lower ramp-up and ramp-down rates than those used in the qualification profile. Never exceed the maximum conditions that we used for qualification, as these represent the maximum tolerable ratings for the device.

11.5 Storage Specifications

The storage specification of the MPU-60X0 conforms to IPC/JEDEC J-STD-020D.1 Moisture Sensitivity Level (MSL) 3.

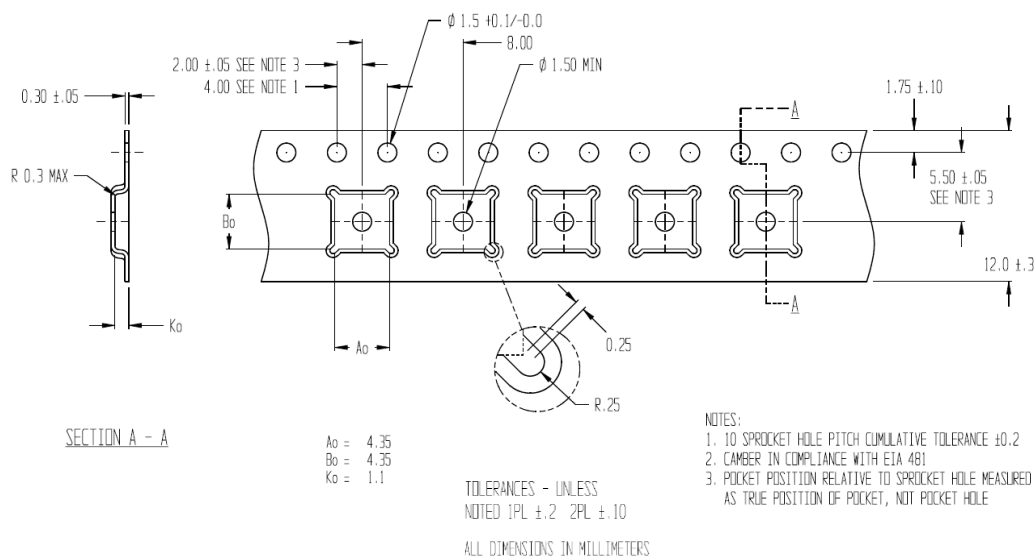
Calculated shelf-life in moisture-sealed bag	12 months -- Storage conditions: <40°C and <90% RH
After opening moisture-sealed bag	168 hours -- Storage conditions: ambient ≤30°C at 60%RH

11.6 Package Marking Specification

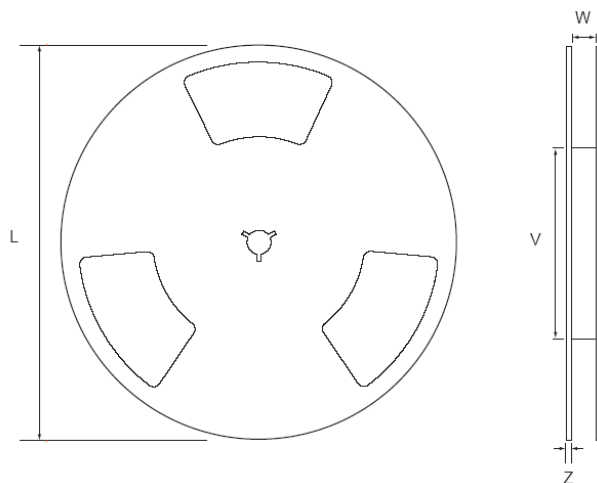


Package Marking Specification

11.7 Tape & Reel Specification



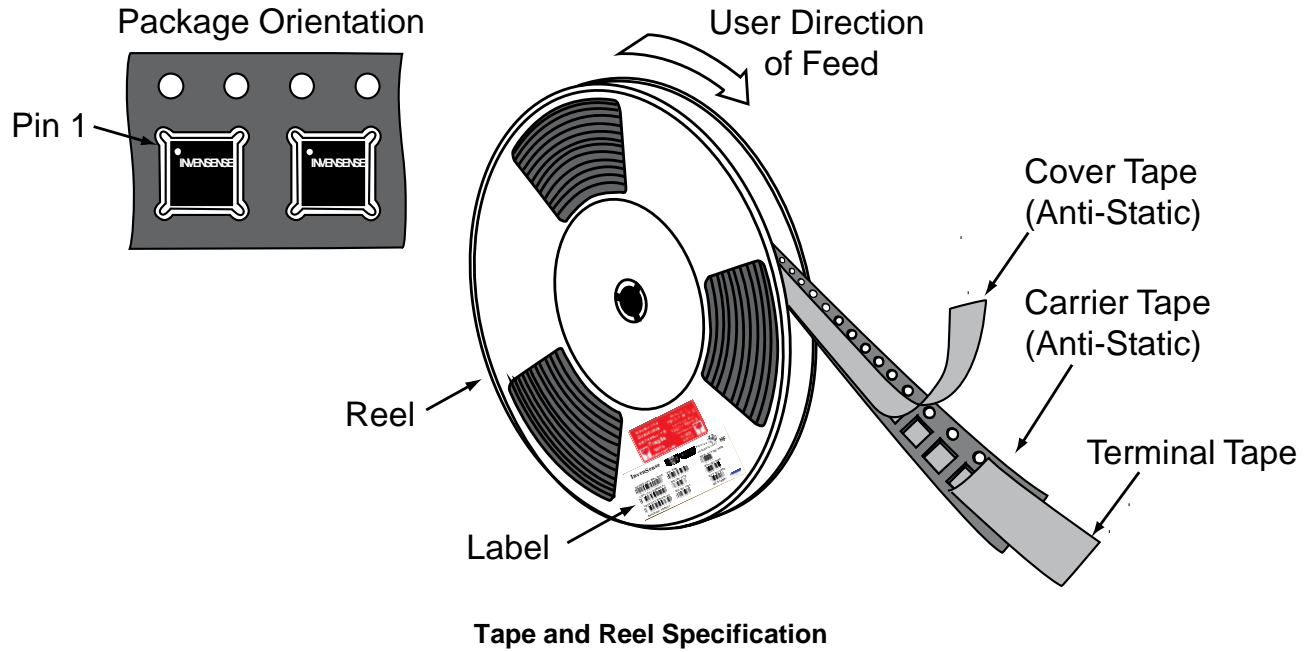
Tape Dimensions



Reel Outline Drawing

Reel Dimensions and Package Size

PACKAGE SIZE	REEL (mm)			
	L	V	W	Z
4x4	330	102	12.8	2.3



Reel Specifications

Quantity Per Reel	5,000
Reels per Box	1
Boxes Per Carton (max)	5
Pcs/Carton (max)	25,000

11.8 Label



Barcode Label



Location of Label on Reel

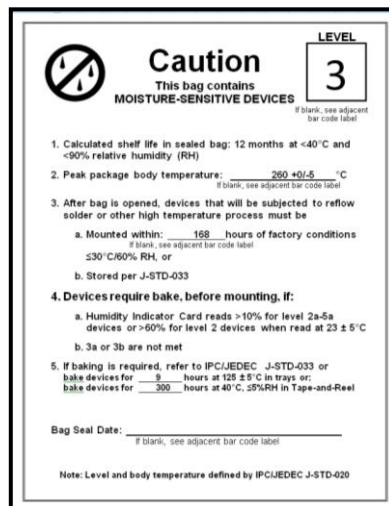
11.9 Packaging



REEL – with Barcode & Caution labels



Vacuum-Sealed Moisture Barrier Bag with ESD, MSL3, Caution, and Barcode Labels



MSL3 Label



Caution Label



ESD Label



Inner Bubble Wrap



Pizza Box



Pizza Boxes Placed in Foam-Lined Shipper Box























Outer Shipper Label



MPU-6000/MPU-6050 Product Specification

Document Number: PS-MPU-6000A-00
Revision: 3.4
Release Date: 08/19/2013

11.10 Representative Shipping Carton Label

		INV. NO: 111013-99	
From: InvenSense Taiwan, Ltd. 1F, 9 Prosperity 1st Road, Hsinchu Science Park, HsinChu City, 30078, Taiwan TEL: +886 3 6686999 FAX: +886 3 6686777		Ship To: Customer Name Street Address City, State, Country ZIP Attn: Buyer Name Phone: Buyer Phone Number	
SUPP PROD ID:		MPU-6050	
LOT#: Q2R994-F1		LOT#:	
QTY: 5615		QTY: 0	
LOT#: Q3X785-G1		LOT#:	
QTY: 4385		QTY: 0	
LOT#: Q3Y196-02		LOT#:	
QTY: 5000		QTY: 0	
LOT#:		LOT#:	
QTY: 0		QTY: 0	
Total Quantity/Carton 15000 		Weight: (KG) 4.05 	
Pb-free 		Shipping Carton:	
MSL3		Category (e4) HF	
			
1 OF 3		 	



12 Reliability

12.1 Qualification Test Policy

InvenSense's products complete a Qualification Test Plan before being released to production. The Qualification Test Plan for the MPU-60X0 followed the JESD471 Standards, "Stress-Test-Driven Qualification of Integrated Circuits," with the individual tests described below.

12.2 Qualification Test Plan

Accelerated Life Tests

TEST	Method/Condition	Lot Quantity	Sample / Lot	Acc / Reject Criteria
(HTOL/LFR) High Temperature Operating Life	JEDEC JESD22-A108D, Dynamic, 3.63V biased, $T_j > 125^{\circ}\text{C}$ [read-points 168, 500, 1000 hours]	3	77	(0/1)
(HAST) Highly Accelerated Stress Test ⁽¹⁾	JEDEC JESD22-A118A Condition A, 130°C , 85%RH, 33.3 psia. unbiased, [read-point 96 hours]	3	77	(0/1)
(HTS) High Temperature Storage Life	JEDEC JESD22-A103D, Cond. A, 125°C Non-Bias Bake [read-points 168, 500, 1000 hours]	3	77	(0/1)

Device Component Level Tests

TEST	Method/Condition	Lot Quantity	Sample / Lot	Acc / Reject Criteria
(ESD-HBM) ESD-Human Body Model	JEDEC JS-001-2012, (2KV)	1	3	(0/1)
(ESD-MM) ESD-Machine Model	JEDEC JESD22-A115C, (250V)	1	3	(0/1)
(LU) Latch Up	JEDEC JESD-78D Class II (2), 125°C ; $\pm 100\text{mA}$	1	6	(0/1)
(MS) Mechanical Shock	JEDEC JESD22-B104C, Mil-Std-883, Method 2002.5, Cond. E, $10,000g$'s, 0.2ms, $\pm X$, Y, Z – 6 directions, 5 times/direction	3	5	(0/1)
(VIB) Vibration	JEDEC JESD22-B103B, Variable Frequency (random), Cond. B, 5-500Hz, X, Y, Z – 4 times/direction	3	5	(0/1)
(TC) Temperature Cycling ⁽¹⁾	JEDEC JESD22-A104D Condition G [-40°C to $+125^{\circ}\text{C}$], Soak Mode 2 [5'], 1000 cycles	3	77	(0/1)

Board Level Tests

TEST	Method/Condition	Lot Quantity	Sample / Lot	Acc / Reject Criteria
(BMS) Board Mechanical Shock	JEDEC JESD22-B104C, Mil-Std-883, Method 2002.5, Cond. E, $10000g$'s, 0.2ms, $\pm X$, Y, Z – 6 directions, 5 times/direction	1	5	(0/1)
(BTC) Board Temperature Cycling ⁽¹⁾	JEDEC JESD22-A104D Condition G [-40°C to $+125^{\circ}\text{C}$], Soak mode 2 [5'], 1000 cycles	1	40	(0/1)

(1) Tests are preceded by MSL3 Preconditioning in accordance with JEDEC JESD22-A113F



13 Environmental Compliance

The MPU-6000/MPU-6050 is RoHS and Green compliant.

The MPU-6000/MPU-6050 is in full environmental compliance as evidenced in report HS-MPU-6000, Materials Declaration Data Sheet.

Environmental Declaration Disclaimer:

InvenSense believes this environmental information to be correct but cannot guarantee accuracy or completeness. Conformity documents for the above component constitutes are on file. InvenSense subcontracts manufacturing and the information contained herein is based on data received from vendors and suppliers, which has not been validated by InvenSense.

This information furnished by InvenSense is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by InvenSense for its use, or for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications are subject to change without notice. InvenSense reserves the right to make changes to this product, including its circuits and software, in order to improve its design and/or performance, without prior notice. InvenSense makes no warranties, neither expressed nor implied, regarding the information and specifications contained in this document. InvenSense assumes no responsibility for any claims or damages arising from information contained in this document, or from the use of products and services detailed therein. This includes, but is not limited to, claims or damages based on the infringement of patents, copyrights, mask work and/or other intellectual property rights.

Certain intellectual property owned by InvenSense and described in this document is patent protected. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of InvenSense. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. Trademarks that are registered trademarks are the property of their respective companies. InvenSense sensors should not be used or sold in the development, storage, production or utilization of any conventional or mass-destructive weapons or for any other weapons or life threatening applications, as well as in any other life critical applications such as medical equipment, transportation, aerospace and nuclear instruments, undersea equipment, power plant equipment, disaster prevention and crime prevention equipment.

InvenSense® is a registered trademark of InvenSense, Inc. MPU™, MPU-6000™, MPU-6050™, MPU-60X0™, Digital Motion Processor™, DMP™, Motion Processing Unit™, MotionFusion™, MotionInterface™, MotionTracking™, and MotionApps™ are trademarks of InvenSense, Inc.



A3. Normativa aplicable

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA Y PARA LAS ADMINISTRACIONES TERRITORIALES

- 15721** *Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.*

El artículo 8 del Convenio de Aviación Civil Internacional (Chicago 1944) establece que ninguna aeronave capaz de volar sin piloto lo hará sobre el territorio de un Estado contratante a menos que cuente con una autorización especial de dicho Estado y de conformidad con los términos de dicha autorización. Corresponde a los Estados velar porque el vuelo de estas aeronaves sin piloto en las regiones abiertas al vuelo de aeronaves civiles se regule de tal modo que les evite todo peligro.

El concepto de aeronave sin piloto o, en términos actuales, vehículos aéreos no tripulados o UAVs (por sus siglas en inglés, «Unmanned Aerial Vehicle»), ha venido siendo interpretado por la comunidad internacional como comprensivo de las aeronaves que vuelan sin un piloto a bordo, y que pueden, o bien ser controladas plenamente por el piloto remoto, aeronaves pilotadas por control remoto, o bien estar programadas y ser completamente autónomas, aeronaves autónomas en terminología de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

Los avances científicos y técnicos han contribuido, en los últimos años, al progreso de la aviación permitiendo la aparición de estos vehículos aéreos no tripulados como nuevos usuarios del espacio aéreo. Esta circunstancia unida a la progresiva reducción de su coste de adquisición, ha permitido la proliferación de su uso de manera casi indiscriminada, con los consiguientes riesgos para la seguridad aérea.

A nivel internacional, en el actual estado de desarrollo del sector, está comúnmente aceptado que sólo las aeronaves no tripuladas pilotadas por control remoto o RPA (por sus siglas en inglés, «Remotely Piloted Aircraft»), pueden integrarse junto al resto de tráficos tripulados en espacios aéreos no segregados y en aeródromos. Por tanto, los principales avances reglamentarios se están produciendo en este momento en relación con aquellos UAVs que son aeronaves pilotadas por control remoto (RPA).

En la línea del resto de los países de nuestro entorno, la modificación del artículo 11 de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, introducida por la Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, estableció que estos artefactos son efectivamente aeronaves y, como tales, su utilización civil está sujeta a la legislación aeronáutica civil.

Por su parte, el artículo 50 de la citada Ley 18/2014, de 15 de octubre, ha establecido, con carácter temporal, el régimen jurídico aplicable a estas aeronaves y a las actividades desarrolladas por ellas, en tanto se procede a la adopción de la disposición reglamentaria prevista en su disposición final segunda, apartado dos.

En ejercicio de la mencionada habilitación normativa, este real decreto establece el marco jurídico definitivo aplicable a la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) no sujetas a la normativa de la Unión Europea, tal es el caso de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de masa máxima al despegue inferior a los 150 kg y las de masa máxima al despegue superior excluidas del ámbito de aplicación del Reglamento (CE) n.º 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de febrero de 2008, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia Europea de Seguridad Aérea, y se deroga la Directiva 91/670/CEE del Consejo o

destinadas a operaciones de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, guardacostas o similares.

Este real decreto, en coherencia con la convención internacional en la materia y las normas de derecho comparado no regula el uso de aeronaves civiles no tripuladas que no permiten la intervención del piloto en la gestión del vuelo, las denominadas aeronaves autónomas, cuyo uso en el espacio aéreo español y en el que España es responsable de la prestación de servicios de tránsito aéreo no está permitido.

Se regula el régimen general aplicable en materia de matriculación y aeronavegabilidad, exceptuando, como ya lo hacía la regulación temporal vigente hasta la fecha, del cumplimiento de estos requisitos a las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de hasta 25 kg de masa máxima al despegue, que, no obstante, están sujetas a condiciones específicas para su pilotaje.

Asimismo, se establecen las condiciones de explotación de estas aeronaves. Conforme al actual desarrollo de la técnica, a las necesidades del sector y a la experiencia de los países de nuestro entorno se contempla, exclusivamente, el uso de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) para la realización, previa habilitación al efecto, de trabajos técnicos o científicos —«operaciones especializadas», en los términos de la normativa de la Unión Europea—, y vuelos de prueba de producción y mantenimiento, de demostración, investigación y desarrollo de nuevos productos o para demostrar la seguridad de las operaciones específicas de trabajos técnicos o científicos.

Este real decreto no contempla la posibilidad de autorización de otras operaciones con aeronaves civiles pilotadas por control remoto, señaladamente el transporte. Al amparo de la amplia habilitación concedida al Gobierno, y al actual estado de la técnica convenida a nivel internacional y comunitario, estas operaciones con aeronaves pilotadas por control remoto quedan diferidas a un posterior desarrollo reglamentario, ya que no existen a fecha de hoy condiciones objetivas de seguridad para su autorización. El alcance de esta regulación es, por otra parte, coherente con el vigente hasta la fecha, contenido en la Ley 18/2014, que queda derogada «ex lege» con la aprobación de este real decreto.

Atendiendo a las singularidades propias de las operaciones de policía de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, a las funciones de guardacostas y servicios de aduanas, a las misiones de vigilancia del tránsito viario, y a las operaciones del Centro Nacional de Inteligencia, se establece el régimen específico que les resulta aplicable.

El régimen jurídico establecido por este real decreto atiende al actual desarrollo de la técnica y las necesidades de la industria del sector y responde a la necesidad de garantizar que las operaciones de RPAS se realizan con los niveles necesarios de seguridad para la propia operación y para terceros, así como que se mantienen los estándares de seguridad operacional para el resto de los usuarios del espacio aéreo.

En materia de seguridad pública este real decreto, atendiendo a la incidencia que el uso de aeronaves pilotadas por control remoto puede tener en ella, salva expresamente aquellas autorizaciones que sean exigibles conforme a la normativa específica sobre la materia y establece las condiciones mínimas aplicables a su entrada en vigor a todas las aeronaves pilotadas por control remoto, cualesquiera que sean sus usos, incluidos por tanto los usos excluidos del ámbito de aplicación del resto del real decreto. Así, se establecen requisitos de identificación de las aeronaves pilotadas por control remoto, medidas de limitación de la operación de estas aeronaves por razones de seguridad pública, o la obligación de comunicación previa al Ministerio del Interior para la operación sobre aglomeraciones urbanas de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o reuniones de personas al aire libre.

Igualmente, en desarrollo de lo previsto en el artículo 42 bis de la Ley 21/2003, de Seguridad Aérea, se establecen las obligaciones de los usuarios de las aeronaves pilotadas por control remoto destinadas exclusivamente a actividades deportivas, recreativas, de competición y exhibición, así como a las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguetes, para evitar que interfieran y pongan en riesgo la seguridad y regularidad de las operaciones aéreas. A estos efectos, debe tenerse en cuenta que el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 923/2012 de la Comisión, de 26 de septiembre de 2012,

por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, y por el que se modifican el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 1035/2011 y los Reglamentos (CE) n.º 1265/2007, (CE) n.º 1794/2006, (CE) n.º 730/2006, (CE) n.º 1033/2006 y (UE) n.º 255/2010, define las aeronaves de juguete como la aeronave no tripulada diseñada para el juego de niños menores de 14 años o cuyo uso esté previsto para dicho fin, ya sea o no con carácter exclusivo. Adicionalmente, a tenor de lo previsto en el Real Decreto 1205/2011, de 26 de agosto, sobre la seguridad de los juguetes, estas aeronaves de juguete deben cumplir los requisitos previstos en dicha disposición.

Este real decreto, por último, modifica el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, para adecuar el régimen previsto en materia de reglas del aire y uso del espacio aéreo a la operación de las aeronaves pilotadas por control remoto.

Este real decreto que se dicta en el ejercicio de la habilitación conferida al Gobierno para establecer el régimen jurídico aplicable a las aeronaves civiles pilotadas por control remoto (RPA), así como a las operaciones y actividades realizadas por éstas, por la disposición final segunda, apartado 2, de la Ley 18/2014, de 15 de octubre, y la disposición final cuarta de la Ley Orgánica 4/2015, de 30 de marzo, de protección de la seguridad ciudadana, y hace uso asimismo de las habilitaciones conferidas por la disposición final cuarta de la Ley 48/1960, de 21 de julio, y la disposición final tercera de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

Este real decreto ha sido sometido al procedimiento previsto en la Directiva (UE) 2015/1535 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de septiembre de 2015, por la que se establece un procedimiento de información en materia de reglamentaciones técnicas y de reglas relativas a los servicios de la sociedad de la información, así como a lo dispuesto en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Fomento y, en relación con la disposición adicional quinta y disposición final primera, de la Ministra de Defensa, con la aprobación previa del Ministro de Hacienda y Función Pública, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 15 de diciembre de 2017,

DISPONGO:

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

Artículo 1. *Objeto.*

1. Este real decreto tiene por objeto establecer el régimen jurídico aplicable a las aeronaves civiles pilotadas por control remoto (RPA) a las que no es aplicable el Reglamento (CE) 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2008, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia Europea de Seguridad Aérea, y se deroga la Directiva 91/670/CEE del Consejo, así como a las operaciones y actividades realizadas por ellas.

2. La realización de actividades distintas a las operaciones aéreas especializadas y vuelos experimentales reguladas en este real decreto, a las actividades deportivas, recreativas, de competición o exhibición, así como a las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguete, conforme a lo previsto en la normativa de aplicación, estará sujeta a la habilitación previa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea mediante el cumplimiento de los requisitos que, atendiendo al desarrollo de la técnica, se establezcan reglamentariamente.

3. Lo dispuesto en este real decreto se entiende sin perjuicio del cumplimiento de otros requisitos y la obtención de las autorizaciones, permisos o licencias que sean exigibles conforme a la normativa que en cada caso resulte de aplicación, en particular, en materia de seguridad pública, en razón de las competencias de otras administraciones o de la propiedad de los terrenos que vayan a usarse con motivo de la operación.

Artículo 2. *Ámbito objetivo y subjetivo.*

1. Este real decreto es de aplicación:

a) A las aeronaves civiles pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue sea inferior a los 150 kg o, cualquiera que sea su masa máxima al despegue, cuando estén excluidas de la aplicación del Reglamento (CE) 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2008, por concurrir alguna de las circunstancias que se especifican en su anexo II, que efectúen operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales.

b) A las aeronaves civiles pilotadas por control remoto (RPA), cualquiera que sea su masa máxima al despegue, que efectúen actividades de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, guardacostas o similares, en su caso, con las salvedades previstas en el artículo 3.

En relación con estas aeronaves, además, este real decreto es de aplicación a los elementos que configuran el sistema de aeronave pilotada por control remoto (RPAS, por sus siglas en inglés «Remotely Piloted Aircraft Systems»), a las operaciones que se realicen con ellos, al personal que los pilote o ayude al piloto a ejercer sus funciones, a las organizaciones de formación aprobadas, así como a su aeronavegabilidad y a las organizaciones involucradas en la misma, a los operadores de estos sistemas y, en lo que corresponda, a los proveedores de servicios de navegación aérea y a los gestores de aeropuertos y aeródromos.

2. Este real decreto, no es de aplicación a:

- a) Los globos libres no tripulados y los globos cautivos.
- b) Los vuelos que se desarrollen en su integridad en espacios interiores completamente cerrados.
- c) Las aeronaves excluidas conforme a lo previsto en el apartado 1, esto es:

1.º Las aeronaves y los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS) militares.

2.º Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) utilizadas exclusivamente para exhibiciones aéreas, actividades deportivas, recreativas o de competición, incluidas las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguete.

3.º Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue sea superior a 150 kg, salvo que:

i) Efectúen operaciones de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, guardacostas o similares.

ii) Estén excluidas de la aplicación del Reglamento (CE) 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2008, por concurrir alguna de las circunstancias que se especifican en su anexo II.

3. Este real decreto es aplicable en territorio y espacio aéreo de soberanía española y, a salvo de lo estipulado en los Convenios o Tratados Internacionales de los que España sea parte, en espacio aéreo en el que el Estado español sea responsable de la prestación de servicios de tránsito aéreo.

Artículo 3. *Exclusiones parciales.*

1. Para la realización de operaciones aéreas especializadas de formación práctica de pilotos remotos, a las organizaciones de producción que reúnan los requisitos previstos en el artículo 15.3 y 4, y a las organizaciones de formación, no les será exigible lo dispuesto en los artículos 28 y 39.

2. A las operaciones de policía atribuidas a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad por la Ley Orgánica 2/1986, de 13 de marzo, y normativa concordante, a las operaciones de aduanas, a las de vigilancia del tránsito viario realizadas directamente por la Dirección General de Tráfico, y a las operaciones realizadas por el Centro Nacional de Inteligencia, únicamente les será de aplicación lo dispuesto en los capítulos I y II, estando en cuanto a la prohibición de sobrevuelo de las instalaciones prevista en el artículo 32 a las funciones que, en relación con dichas instalaciones, correspondan a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, al Servicio de Vigilancia Aduanera, a la Dirección General de Tráfico, o al Centro Nacional de Inteligencia.

Sin perjuicio de la sujeción a las disposiciones a que se refiere el artículo 20.2 y de las obligaciones de notificación de accidentes e incidentes graves conforme a lo previsto en el Reglamento (UE) n.º 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, sobre investigación y prevención de accidentes e incidentes en la aviación civil y por el que se deroga la Directiva 94/56/CE, estas operaciones se realizarán, en todo caso, conforme a las condiciones establecidas en los protocolos adoptados al efecto por el organismo público responsable de la prestación del servicio o realización de la actividad y, en el caso de las funciones de policía atribuidas a las policías locales, en los respectivos Reglamentos de Policías Locales, de modo que no se ponga en peligro a otros usuarios del espacio aéreo y a las personas y bienes subyacentes.

Además, las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS) en el ejercicio de estas actividades se ajustarán a lo establecido por el organismo público responsable de la prestación del servicio o realización de la actividad que, en todo caso, será responsable de:

- a) Autorizar la operación.
- b) Establecer los requisitos que garanticen que los pilotos remotos y, en su caso, los observadores, cuentan con la cualificación adecuada para realizar las operaciones en condiciones de seguridad que, en todo caso, deberán respetar los mínimos establecidos en los artículos 33.1 y 38.
- c) Asegurarse de que la operación puede realizarse en condiciones de seguridad y cumple el resto de los requisitos exigibles conforme a lo previsto en este apartado.

Artículo 4. *Requisitos generales de uso de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA).*

Sin perjuicio del cumplimiento del resto de los requisitos establecidos en este real decreto, su normativa de desarrollo y el resto de las disposiciones de aplicación, el uso de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) requerirá, en todo caso que su diseño y características permitan al piloto intervenir en el control del vuelo, en todo momento.

El piloto remoto será, en todo momento, el responsable de detectar y evitar posibles colisiones y otros peligros.

Artículo 5. *Definiciones.*

A los efectos de este real decreto, se entenderá por:

- a) Aeronave pilotada por control remoto (RPA): Aeronave no tripulada, dirigida a distancia desde una estación de pilotaje remoto.
- b) Condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC): Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia de las nubes y techo de nubes, iguales o mejores a las establecidas en SERA.5001 del anexo del Reglamento de Ejecución (UE)

n.º 923/2012 de la Comisión, de 26 de septiembre de 2012, por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, y por el que se modifican el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 1035/2011 y los Reglamentos (CE) n.º 1265/2007, (CE) n.º 1794/2006, (CE) n.º 730/2006, (CE) n.º 1033/2006 y (UE) n.º 255/2010 (en adelante Reglamento SERA), y normativa de desarrollo y aplicación.

c) Detectar y evitar: Capacidad de ver, captar o descubrir la existencia de tránsito en conflicto u otros peligros y adoptar las medidas apropiadas conforme a las reglas del aire.

d) Estación de pilotaje remoto: Componente de un sistema de aeronave pilotada por control remoto (RPAS) que contiene los equipos utilizados para pilotar la aeronave.

e) NOTAM: Aviso distribuido por medio de telecomunicaciones que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualesquiera instalaciones, servicios, procedimientos o peligros aeronáuticos que es indispensable conozca oportunamente el personal que realiza operaciones de vuelo.

f) Masa máxima al despegue: Máxima masa, incluyendo la carga de pago, y el combustible o las baterías en caso de motores eléctricos, para la que el fabricante ha establecido que la aeronave puede realizar la maniobra de despegue con seguridad, cumpliendo con todos los requisitos de certificación, cuando proceda ésta, o, en otro caso, teniendo en cuenta la resistencia estructural de la aeronave u otras limitaciones.

g) Observador: Persona designada por el operador que, mediante observación visual de la aeronave pilotada por control remoto (RPA), directa y sin ayudas que no sean lentes correctoras o gafas de sol, ayuda al piloto en la realización segura del vuelo.

h) Organizaciones de formación: Organización conforme al anexo VII del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011 (ATO), escuela de ultraligeros, escuela de vuelo sin motor, o aquellas organizaciones de formación de pilotos remotos habilitadas por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

i) Operador: La persona física o jurídica que realiza las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales regulados por este real decreto y que es responsable del cumplimiento de los requisitos establecidos por el mismo para una operación segura. Cuando el operador sea una persona física podrá ser asimismo piloto remoto u observador, si acredita el cumplimiento de los requisitos exigibles a éstos.

j) Operación comercial: Operación aérea especializada realizada por cuenta ajena en la que se da o promete una remuneración, compensación económica o contraprestación de valor con respecto del vuelo o del objeto del vuelo.

k) Operación no comercial: Aquella operación aérea especializada realizada con carácter privado o por cuenta propia, o por cuenta ajena sin que medie remuneración o compensación económica o contraprestación de valor.

l) Operaciones aéreas especializadas, también denominadas trabajos técnicos, científicos o trabajos aéreos: Cualquier operación, ya sea comercial o no comercial, distinta de una operación de transporte aéreo, en la que se utiliza una aeronave pilotada por control remoto (RPA) para realizar actividades especializadas, tales como, actividades de investigación y desarrollo, actividades agroforestales, levantamientos aéreos, fotografía, vigilancia, observación y patrulla, incluyendo la filmación, publicidad aérea, emisiones de radio y televisión, lucha contra incendios, lucha contra la contaminación, prevención y control de emergencias, búsqueda y salvamento o entrenamiento y formación práctica de pilotos remotos.

m) Operación dentro del alcance visual del piloto (VLOS, por sus siglas en inglés «Visual Line of Sight»): Operación en que el piloto mantiene contacto visual directo con la aeronave pilotada por control remoto (RPA), sin la ayuda de dispositivos ópticos o electrónicos que no sean lentes correctoras o gafas de sol.

n) Operación dentro del alcance visual aumentado (EVLOS, por sus siglas en inglés «Extended Visual Line of Sight»): Operaciones en las que el contacto visual directo con la aeronave se satisface utilizando medios alternativos, en particular, observadores en contacto permanente por radio con el piloto.

o) Operación más allá del alcance visual del piloto (BVLOS, por sus siglas en inglés «Beyond Visual Line of Sight»): Operaciones que se realizan sin contacto visual directo con la aeronave pilotada por control remoto (RPA).

p) Piloto remoto (en adelante piloto): Persona designada por el operador para realizar las tareas esenciales para la operación de vuelo de una aeronave pilotada por control remoto (RPA), que manipula los controles de vuelo de la misma durante el vuelo.

q) Espacio aéreo temporalmente segregado (TSA): Volumen definido de espacio aéreo para uso temporal específico de una actividad, y a través del cual no se puede permitir el tránsito de otro tráfico, ni siquiera bajo autorización ATC.

r) Sistema de aeronave pilotada por control remoto (en adelante RPAS): Conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada por control remoto (RPA), su estación o estaciones de pilotaje remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier momento durante la operación de vuelo.

s) Vuelos experimentales: Los siguientes vuelos:

1.º Vuelos de prueba de producción y de mantenimiento, realizados por fabricantes u organizaciones dedicadas al mantenimiento.

2.º Vuelos de demostración no abiertos al público, dirigidos a grupos cerrados de asistentes por el organizador de un determinado evento o por un fabricante u operador para clientes potenciales.

3.º Vuelos para programas de investigación, realizados por cuenta de quien gestione el programa en los que se trate de demostrar la viabilidad de realizar determinada actividad con aeronaves pilotadas por control remoto (RPA).

4.º Vuelos de desarrollo en los que se trate de poner a punto las técnicas y procedimientos para realizar una determinada actividad con aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), previos a la puesta en producción de esa actividad, realizados por quien pretenda llevarla a cabo.

5.º Vuelos de I+D, realizados por fabricantes u otras entidades, organizaciones, organismos, instituciones o centros tecnológicos para el desarrollo de nuevas aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) o de los elementos que configuran el RPAS.

6.º Vuelos de prueba necesarios para que un operador pueda demostrar que la operación u operaciones proyectadas con la aeronave pilotada por control remoto pueden realizarse con seguridad.

Artículo 6. *Normas comunes sobre procedimiento.*

1. Corresponde a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea resolver sobre las autorizaciones, certificados y habilitaciones previstas en este real decreto.

Las solicitudes y comunicaciones previstas en este real decreto, dirigidas a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, podrán presentarse a través de medios electrónicos o no, salvo que quienes las formulen estén obligadas a relacionarse a través de medios electrónicos con las Administraciones Públicas, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

2. Las resoluciones del Director de la Agencia dictadas en los procedimientos regulados en este real decreto ponen fin a la vía administrativa. Frente a ellas podrá interponerse recurso potestativo de reposición, previo al recurso contencioso-administrativo, ante el Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea en el plazo de un mes desde la notificación de la resolución expresa o, en cualquier momento a partir del día siguiente aquél que, de conformidad con lo previsto en este real decreto deba entenderse desestimada la solicitud por silencio administrativo, según lo previsto en los artículos 123 y 124 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre.

3. Frente a las resoluciones de los Directores de Seguridad de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá interponerse recurso de alzada ante el Director de la Agencia. Según lo establecido en los artículos 121 y 122 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, el

recurso de alzada podrá interponerse ante el órgano que dictó el acto que se impugna o ante el competente para resolverlo, en el plazo de un mes desde la notificación de la resolución expresa o, en cualquier momento a partir del día siguiente aquél que, de conformidad con lo previsto en este real decreto deba entenderse desestimada la solicitud por silencio administrativo.

Artículo 7. *Supervisión, control y régimen sancionador*

1. El ejercicio de las actividades y la realización de los vuelos regulados en este real decreto, así como el cumplimiento de los requisitos establecidos en él, están sujetos a la supervisión y control de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

En cuanto a las actividades de policía, atribuidas a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad por la Ley Orgánica 2/1986, de 13 de marzo, y normativa concordante, aduanas, a las misiones de vigilancia del tránsito viario realizadas directamente por la Dirección General de Tráfico, y a las del Centro Nacional de Inteligencia, a que se refiere el artículo 3.2, esta supervisión alcanzará al cumplimiento de los requisitos establecidos en los capítulos I y II.

El incumplimiento de lo previsto en este real decreto y su normativa de desarrollo y aplicación constituye infracción administrativa en el ámbito de la aviación civil conforme a lo previsto en la Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea, en particular, en relación con las infracciones contra la seguridad de la aviación civil tipificadas en su artículo 44 y le será de aplicación el régimen sancionador previsto en la citada norma.

Para facilitar el cumplimiento de lo establecido en este real decreto y sus normas de desarrollo, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá adoptar medios aceptables de cumplimiento y material guía que faciliten el cumplimiento de lo dispuesto en la normativa de aplicación y la acreditación de dicho cumplimiento.

2. Lo dispuesto en el apartado anterior se entiende sin perjuicio de la responsabilidad del organismo responsable de la realización de las actividades o prestación de los servicios a que se refiere el artículo 3.2, de asegurarse que las operaciones se realizan con sujeción a las disposiciones de este real decreto que les resultan de aplicación y de su responsabilidad y competencia en orden a garantizar que se realizan con sujeción a las condiciones establecidas por dicho organismo.

3. Asimismo, lo dispuesto en los apartados precedentes, se entiende sin perjuicio de las competencias de la Agencia Española de Protección de Datos, del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, y de las autoridades competentes en materia de seguridad pública.

CAPÍTULO II

Requisitos de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS)

Sección 1.ª Identificación, matriculación, aeronavegabilidad y requisitos del enlace de mando y control

Artículo 8. *Identificación.*

Todas las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) deberán llevar fijada a su estructura una placa de identificación ignífuga, en la que deberá constar la identificación de la aeronave, mediante su designación específica, incluyendo el nombre del fabricante, tipo, modelo y, en su caso, número de serie, así como el nombre del operador y los datos necesarios para ponerse en contacto con él.

La información que debe figurar en la placa deberá ir marcada en ella por medio de grabado químico, troquelado, estampado u otro método homologado de marcado ignífugo, de forma legible a simple vista e indeleble.

Artículo 9. *Requisitos sobre matriculación y certificado de aeronavegabilidad.*

1. Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) con una masa máxima al despegue que no exceda de 25 kg quedan exceptuadas de los requisitos de inscripción en el Registro de Matrícula de Aeronaves Civiles y de la obtención del certificado de aeronavegabilidad previstos, respectivamente, en los artículos 29 y 36 de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea.

Al resto de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) les serán exigibles los requisitos sobre matriculación y certificado de aeronavegabilidad previstos en la normativa de aplicación, con las singularidades establecidas en este capítulo.

2. Sin perjuicio de lo previsto en el apartado 1, el operador podrá solicitar un certificado de aeronavegabilidad para una aeronave pilotada por control remoto (RPA) con una masa máxima al despegue que no exceda de 25 kg, siempre que no esté matriculada en otro país, en cuyo caso serán de aplicación para su emisión los requisitos establecidos en este capítulo para las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) con una masa máxima al despegue superior a 25 kg.

En el caso de que para estas aeronaves el certificado de aeronavegabilidad se solicite conforme a un certificado de tipo que ampare al tipo o modelo de aeronave de que se trate, la conformidad de cada unidad producida con el certificado de tipo se garantizará mediante la emisión de una declaración de conformidad del fabricante.

3. El plazo máximo para resolver sobre los procedimientos previstos en este capítulo en materia de aeronavegabilidad será de seis meses desde la solicitud, transcurrido el cual ésta podrá entenderse denegada, de conformidad con lo previsto en la disposición adicional vigésimo novena de la Ley 14/2000, de 29 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.

Artículo 10. *Matrícula.*

El tamaño de las marcas de matrícula podrá reducirse conforme a lo previsto en la Orden FOM/1687/2015, de 30 de julio, por la que se establecen disposiciones complementarias sobre las marcas de nacionalidad y de matrícula de las aeronaves civiles, y normativa concordante.

Artículo 11. *Certificado de tipo y de aeronavegabilidad.*

1. El certificado de aeronavegabilidad que corresponde a las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) es el certificado restringido de aeronavegabilidad y, en su caso, el certificado de tipo restringido.

Para la emisión de los certificados de aeronavegabilidad y, en su caso, de tipo, para las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) serán de aplicación los procedimientos establecidos en el anexo I, Parte 21 del Reglamento (UE) n.º 748/2012 de la Comisión, de 3 de agosto de 2012, por el que se establecen las disposiciones de aplicación sobre la certificación de aeronavegabilidad y medioambiental de las aeronaves y los productos, componentes y equipos relacionados con ellas, así como sobre la certificación de las organizaciones de diseño y de producción (en adelante parte 21), en materia de certificados de tipo restringidos y sus modificaciones, en particular las subpartes B, D, E y M, y en materia de certificados restringidos de aeronavegabilidad, en particular en la Subparte H, así como los requisitos generales sobre notificación de problemas en servicio y coordinación entre diseño y producción establecidos en la Subparte A.

Las referencias del citado Reglamento a la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), en el ámbito de las competencias de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, deberán entenderse referidas a ésta.

El certificado restringido de aeronavegabilidad, y en su caso, el certificado de tipo restringido, (en adelante, certificado de aeronavegabilidad RPA o, según corresponda, certificado de tipo RPA) se emite a la aeronave y abarca todos los componentes del sistema (RPAS), incluyendo la propia aeronave, las estaciones de pilotaje remoto y los

correspondientes enlaces de mando y control, así como cualquier otro elemento del sistema que pueda requerirse en cualquier momento durante la operación.

2. Los criterios de certificación de tipo restringido que se notificarán al solicitante para la emisión de un certificado de tipo RPA, conforme al apartado 21.A.17 de la Parte 21, podrán consistir en especificaciones de certificación publicadas por organismos españoles o internacionales que garanticen un nivel de seguridad adecuado. En ausencia de especificaciones de certificación adecuadas a las características del sistema, se seguirán las directrices establecidas por Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) para el establecimiento de los criterios de certificación de tipo. Por resolución del Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, publicada en el «Boletín Oficial del Estado», se establecerán las especificaciones de certificación que resulten aceptables.

La hoja de datos del certificado de tipo mencionada en la Parte 21, artículo 21.A.41, definirá las condiciones o limitaciones bajo las cuales se permite operar al RPAS, incluyendo también las restricciones en las áreas de operaciones y de la utilización del espacio aéreo.

3. A solicitud de la persona física o jurídica a cuyo nombre esté matriculada o vaya a matricularse una aeronave, conforme a lo previsto en 21.A.172, o del operador cuando se trate de aeronaves no sujetas a matriculación, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea emitirá el certificado de aeronavegabilidad RPA, previa demostración de conformidad del RPAS con un certificado de tipo RPA, o, en su defecto, con unas especificaciones de aeronavegabilidad concretas conforme a la Parte 21, artículo 21.A.173.b).2. Este certificado tendrá validez indefinida siempre que se mantengan las condiciones que dieron lugar a su emisión.

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea, atendiendo al principio de reciprocidad, podrá reconocer los certificados de tipo o los certificados de aeronavegabilidad emitidos por la autoridad aeronáutica competente de los Estados miembros de la Unión Europea, del Espacio Económico Europeo o Turquía, cuando quede acreditado que los requisitos exigidos por la autoridad del país de origen son equivalentes a los exigibles, conforme a lo previsto en este real decreto, para la expedición de dichos certificados por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

4. Las modificaciones a un RPAS estarán sujetas a aprobación, conforme al Reglamento (UE) n.º 748/2012 de la Comisión, de 3 de agosto de 2012.

5. Lo dispuesto en este artículo será de aplicación independientemente de que la aeronave pilotada por control remoto (RPA) de que se trate y sus sistemas asociados sean fabricados en serie o no.

Artículo 12. *Certificado especial para vuelos experimentales.*

1. Como excepción a lo dispuesto en el artículo anterior, la realización de vuelos experimentales con aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de masa máxima al despegue que exceda de 25 kg no requerirá que la aeronave disponga de un certificado de aeronavegabilidad RPA. En este caso, a solicitud de la organización que, conforme a lo previsto en el artículo 5, letra s), pretenda realizar los vuelos, podrá emitirse un certificado de aeronavegabilidad RPA especial denominado «certificado especial para vuelos experimentales».

El certificado especial para vuelos experimentales se emitirá cuando quede acreditada la capacidad de la aeronave para la realización de los vuelos previstos en condiciones de seguridad, lo que requerirá que el solicitante:

- a) Documente la caracterización de la aeronave en los términos previstos en el artículo 26, letra a).
- b) Establezca una zona de seguridad, conforme a lo previsto en el artículo 23.2,
- c) Realice un estudio aeronáutico de seguridad conforme a lo establecido en el artículo 26, letra b).
- d) Justifique documentalmente la capacidad de la aeronave para realizar de forma segura los vuelos propuestos, definiendo las condiciones o restricciones que se consideren necesarias a este efecto.

e) Defina el método que se vaya a emplear para el control de la configuración del RPAS, de manera que se garantice que cumple las condiciones establecidas en el artículo 4.

El certificado especial para vuelos experimentales especificará las condiciones o limitaciones aplicables a las operaciones, incluidas las relativas a las áreas de operaciones y al uso del espacio aéreo. En el caso de que los vuelos a realizar requieran la utilización de espacio aéreo temporalmente segregado (TSA), el certificado especial para vuelos experimentales se entenderá condicionado, en todo caso, a que dichos vuelos se realicen en un espacio temporalmente segregado (TSA) al efecto.

2. A la solicitud para obtener el certificado especial para vuelos experimentales, se acompañará la documentación que acredite el cumplimiento de los requisitos establecidos en el apartado 1, letras a) a e), junto con una declaración firmada por el solicitante de que la aeronave es capaz de efectuar un vuelo seguro con las condiciones o restricciones a que se refiere la letra d) del mencionado apartado.

3. La Agencia Estatal de Seguridad Aérea emitirá el certificado especial para vuelos experimentales, previa comprobación del cumplimiento de los requisitos establecidos en este artículo, por un periodo máximo de un año o, cuando la solicitud acredite la necesidad de realizar los vuelos experimentales durante un período superior, por el tiempo necesario para su realización.

El certificado se referirá a la configuración de la aeronave y sus sistemas asociados definida en la documentación prevista en el apartado 1, letra a).

Transcurrido el plazo previsto en el certificado sin haberse completado los vuelos previstos o en el caso de que fuera necesario realizar vuelos adicionales, deberá solicitarse un nuevo certificado especial para vuelos experimentales.

4. El certificado especial para vuelos experimentales quedará sin efecto, previa tramitación del correspondiente procedimiento, cuando se incumplan las limitaciones y condiciones aplicables.

5. Salvo lo previsto en el párrafo siguiente, cuando se introduzcan cambios al RPAS respecto de la configuración que conste en el certificado será necesario obtener un nuevo Certificado especial para vuelos experimentales, previa presentación de la documentación prevista en el apartado 2.

No afectarán a la eficacia del certificado especial para vuelos experimentales, los cambios introducidos al RPAS por un solicitante que haya acreditado el cumplimiento de los requisitos previstos en el artículo 14.1 para las organizaciones de diseño, que no repercutan en las condiciones y restricciones a que se refiere el apartado 1, letra d), de este artículo y respecto de los cuales se haya actualizado la declaración prevista en el apartado 2.

Artículo 13. *Requisitos del enlace de mando y control.*

1. El enlace de mando y control que forma parte del RPAS deberá garantizar la ejecución de dichas funciones con la continuidad y la fiabilidad necesaria en relación con el área de operaciones.

2. El uso del espectro radioeléctrico para el enlace de mando y control, y para cualquier otro uso, se hará de acuerdo con lo establecido en la normativa reguladora de las telecomunicaciones y, en particular, del dominio público radioeléctrico, siendo necesaria la obtención del correspondiente título habilitante cuando sea exigible conforme a la citada normativa.

Sección 2.^a Organizaciones de diseño y producción

Artículo 14. *Organizaciones de diseño.*

1. Para obtener un certificado de tipo RPA los interesados deberán disponer de un sistema de garantía de diseño y cumplir con las condiciones, requisitos y obligaciones que se establecen para las organizaciones de diseño en la Parte 21.

Sin perjuicio de lo dispuesto en el párrafo anterior y previa justificación por el solicitante de que la aeronave pilotada por control remoto (RPA) es de diseño simple, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá admitir que el solicitante acredite que cumple con los requisitos conforme a criterios y procedimientos alternativos a los establecidos en la Parte 21, Subparte J, que, en todo caso, habrán de incluir procedimientos que pongan de manifiesto las prácticas de diseño específicas utilizadas por la organización, los recursos de ésta y la secuencia de actividades necesarias para el diseño.

2. El solicitante de un certificado de tipo RPA ha de acreditar ante la Agencia Estatal de Seguridad Aérea lo dispuesto en el apartado anterior proporcionando los datos e información necesaria y permitiendo las investigaciones previstas en la Subparte J de la Parte 21. La Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá eximir de la acreditación de algunos de dichos datos al solicitante de un certificado de tipo de sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto considerados de diseño simple.

Cualquier cambio en el sistema de garantía de diseño deberá ser comunicado a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, proporcionando la actualización de los datos e información necesaria a que se refiere el párrafo anterior.

3. El cumplimiento de lo dispuesto en los apartados anteriores se entiende acreditado para las organizaciones de diseño de sistemas de aeronaves pilotas por control remoto aprobadas por la Agencia Europea de Seguridad Aérea, así como, en su caso, para aquellas organizaciones respecto de las que esa Agencia haya aceptado el uso de criterios y procedimientos alternativos.

Artículo 15. *Organizaciones de producción.*

1. Los fabricantes de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) serán responsables de las aeronaves que fabriquen.

2. Los fabricantes de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue no exceda de los 25 kg deberán elaborar para cada aeronave la documentación relativa a su caracterización, con el contenido previsto en el artículo 26, letra a), y una declaración de conformidad de la aeronave con dicha caracterización, que se entregarán al operador.

3. Las organizaciones que fabriquen en serie aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue sea superior a 25 kg o una aeronave que disponga de un certificado de tipo RPA, deberán ser aprobadas por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea previa acreditación del cumplimiento de los requisitos establecidos en la Parte 21 para las organizaciones de producción.

4. Como excepción a lo previsto en el párrafo anterior bastará con que dispongan de un sistema de inspección de la producción y cumplan con las condiciones, requisitos y obligaciones que se establecen para las organizaciones de producción en la Subparte F de la Parte 21, acreditándolo mediante la documentación e investigaciones previstas en la misma, las organizaciones que sean microempresas y pequeñas empresas conforme a la Recomendación 2003/361/CE de la Comisión, de 6 de mayo de 2003, sobre la definición de microempresas, pequeñas y medianas empresas y fabriquen, exclusivamente, aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de diseño y tecnología simple y no tengan establecido un flujo continuo de producción, siendo ésta infrecuente o por lotes reducidos.

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea expresará su aceptación de la utilización por el fabricante de este procedimiento para la demostración de conformidad de sus productos mediante la emisión de un documento de aceptación conforme a lo previsto en la Parte 21, artículo 21.A.125.A.

5. Por resolución del Director de Seguridad de Aeronaves de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea se establecerán los formularios que sustituyan a los especificados en la Subparte F, para las organizaciones a que se refiere el apartado 4 y, para el resto, en la Subparte G de la Parte 21.

Sección 3.^a Mantenimiento

Artículo 16. *Responsabilidades en materia de mantenimiento.*

1. El fabricante de una aeronave pilotada por control remoto (RPA) o, en su caso, el titular de su certificado de tipo deberá elaborar y desarrollar un manual o conjunto de manuales que describan su funcionamiento, mantenimiento e inspección. Estos manuales deberán incluir directrices para realizar las tareas necesarias de inspección, mantenimiento y reparación a los niveles adecuados y específicos de la aeronave y sus sistemas asociados (RPAS), y deberán proporcionarse al operador junto con la aeronave.

2. El operador es responsable del mantenimiento y la conservación de la aeronavegabilidad, debiendo ser capaz de demostrar en todo momento que la aeronave pilotada por control remoto (RPA) y sus sistemas asociados conservan las condiciones de aeronavegabilidad con las que fueron fabricados. Además, el operador deberá cumplir con cualquier requisito de mantenimiento de la aeronavegabilidad declarado obligatorio por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

A estos efectos, el operador deberá establecer un sistema de registro de los datos relativos a:

- a) Los vuelos realizados y el tiempo de vuelo.
- b) Las deficiencias ocurridas antes de y durante los vuelos, para su análisis y resolución.
- c) Los eventos significativos relacionados con la seguridad.
- d) Las inspecciones y acciones de mantenimiento y sustitución de piezas realizadas.

En todo caso, el mantenimiento y las reparaciones que procedan deberán realizarse siguiendo las directrices del fabricante o, en su caso, del titular del certificado de tipo RPA.

Artículo 17. *Mantenimiento por el fabricante, titular del certificado de tipo y otras organizaciones de mantenimiento.*

El mantenimiento de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) podrá realizarse por su fabricante y, en su caso, por el titular de su certificado de tipo, así como por aquellas otras organizaciones de mantenimiento que cumplan los requisitos que se establezcan por orden del Ministro de Fomento.

Artículo 18. *Disposiciones específicas en materia de mantenimiento de aeronaves pilotadas por control remoto de hasta 150 kg.*

1. A los efectos previstos en el artículo 16.2, el operador de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de hasta 150 kg de masa máxima al despegue deberá establecer, sobre la base de las instrucciones del fabricante adaptadas, según sea necesario, al tipo de operaciones a realizar, un programa de mantenimiento adecuado para garantizar la aeronavegabilidad continuada del RPAS, del que formará parte, en todo caso, la estación de pilotaje remoto.

2. El mantenimiento de estas aeronaves podrá realizarse, además de conforme a lo previsto en el artículo anterior, por el operador siempre que haya recibido la formación adecuada del fabricante o del titular de su certificado de tipo en su caso.

En el caso de aeronaves de menos de 2 kg de masa máxima al despegue, el operador podrá realizar el mantenimiento siguiendo únicamente las instrucciones del fabricante.

Artículo 19. *Disposiciones específicas en materia de mantenimiento de aeronaves pilotadas por control remoto de más de 150 kg incluidas en el ámbito de aplicación de este real decreto.*

1. El establecimiento del programa de mantenimiento de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de más de 150 kg de masa máxima al despegue, a las que resulta de aplicación este real decreto, y su ejecución se realizará conforme a las siguientes reglas:

a) Para las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de más 150 kg y hasta 450 kg de masa máxima al despegue, se ajustará a lo dispuesto en la normativa aplicable a las aeronaves tripuladas ultraligeras motorizadas.

b) Para las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de más de 450 kg y hasta 1.200 kg de masa máxima al despegue, se ajustará a los requisitos correspondientes a las aeronaves tripuladas de la misma masa máxima al despegue (ELA 1) que no realicen operaciones comerciales, contenidos en el anexo I, Parte M, del Reglamento (UE) n.º 1321/2014 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2014, sobre el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves y productos aeronáuticos, componentes y equipos y sobre la aprobación de las organizaciones y personal que participan en dichas tareas. Dichos requisitos se considerarán de aplicación al operador en lugar de al propietario.

c) Para las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de más de 1.200 kg de masa máxima al despegue, se ajustará a los requisitos correspondientes a las aeronaves tripuladas de la misma masa máxima al despegue, contenidos en el anexo I, Parte M, del Reglamento (UE) n.º 1321/2014 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2014.

2. A los efectos previstos en el apartado 1, letras b) y c), los certificados y otros documentos contemplados en el Reglamento (UE) n.º 1321/2014 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2014, serán reemplazados por documentos equivalentes nacionales, que se establecerán mediante resolución del Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

CAPÍTULO III

Condiciones para la utilización del espacio aéreo

Artículo 20. *Reglas aplicables.*

1. La utilización del espacio aéreo por las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) se ajustará a los requisitos establecidos en este capítulo.

2. Las operaciones de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) deberán ser conformes a las reglas del aire y condiciones de uso aplicables al espacio aéreo en que se desarrollen, de conformidad con lo previsto en el Reglamento SERA, el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea, así como en el Reglamento de Circulación Aérea aprobado por Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, y normativa concordante.

3. Los RPAS deben contar con los equipos requeridos para el vuelo en el espacio aéreo de que se trate, de conformidad con lo previsto en el artículo 23 quater del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio.

Artículo 21. *Condiciones de utilización del espacio aéreo para la realización de operaciones aéreas especializadas por aeronaves pilotadas por control remoto que no dispongan de certificado de aeronavegabilidad.*

1. Todas las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) que no dispongan de certificado de aeronavegabilidad podrán realizar operaciones aéreas especializadas en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona

de información de vuelo (FIZ), siempre que la operación se realice dentro del alcance visual del piloto (VLOS), o de observadores que estén en contacto permanente por radio con aquél (EVLOS), a una distancia horizontal del piloto, o en su caso de los observadores, no mayor de 500 m y a una altura sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m), o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m (500 ft) desde la aeronave.

2. Además, en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) y dentro del alcance directo de la emisión por radio de la estación de pilotaje remoto que permita un enlace de mando y control efectivo, podrán realizarse operaciones aéreas especializadas:

a) Por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue sea de hasta 2 kg, con sujeción a lo dispuesto en el artículo 23 ter.4, párrafos primero y segundo, del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio.

b) Por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), cuando se cuente con sistemas, aprobados por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, que permitan a su piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. En caso contrario, estos vuelos fuera del alcance visual del piloto (BVLOS) solamente podrán tener lugar en espacio aéreo temporalmente segregado (TSA) al efecto.

Para la aprobación de los sistemas a que se refiere el párrafo anterior, el Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá aprobar, por resolución publicada en el «Boletín Oficial del Estado», medios aceptables de cumplimiento basados en los estándares técnicos establecidos al efecto, entre otros, por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) o, en su defecto, por otras autoridades aeronáuticas que considere.

3. Podrán realizarse operaciones aéreas especializadas sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), únicamente por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue no exceda de 10 kg, dentro del alcance visual del piloto (VLOS), a una distancia horizontal máxima del piloto de 100 m, y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m), o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 600 m desde la aeronave.

Estas operaciones, deberán realizarse sobre zonas acotadas en la superficie en las que, la autoridad competente a tales efectos, haya limitado el paso de personas o vehículos o, en otro caso, manteniendo una distancia horizontal mínima de seguridad de 50 m respecto de edificios u otro tipo de estructuras y respecto de cualquier persona, salvo personal del operador o personal que esté involucrado en el desarrollo de la operación.

Artículo 22. Condiciones generales de utilización del espacio aéreo para la realización de operaciones aéreas especializadas por aeronaves pilotadas por control remoto con certificado de aeronavegabilidad.

Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) que dispongan de certificado de aeronavegabilidad podrán operar con las condiciones y limitaciones establecidas en su certificado de aeronavegabilidad RPA emitido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

Las aeronaves con certificado de aeronavegabilidad cuando no se disponga de sistemas para detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo, solamente podrán operar fuera del alcance visual del piloto (BVLOS) en espacio aéreo temporalmente segregado (TSA) al efecto.

Artículo 23. *Condiciones generales de utilización del espacio aéreo para la realización de vuelos experimentales.*

1. Los vuelos experimentales solamente podrán realizarse dentro del alcance visual del piloto, o, en otro caso, en una zona del espacio aéreo segregada al efecto y siempre en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, así como en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ).

2. La realización de estos vuelos requerirá, además, el establecimiento de una zona de seguridad en relación con la zona de realización del vuelo.

Artículo 24. *Acceso a espacio aéreo controlado o zona de información de vuelo (FIZ) y distancia de aeródromos.*

1. Las distancias mínimas de la operación respecto de cualquier aeropuerto o aeródromo, así como el acceso a espacio aéreo controlado o a una zona de información de vuelo (FIZ) para la realización de operaciones aéreas especializadas, estará sujeto a lo previsto en el artículo 23 ter.3, letras b) y c), del Real Decreto 552/2014 de 27 de junio, y a los requisitos establecidos en este artículo.

2. Los procedimientos de coordinación acordados con el gestor aeroportuario o, en su caso, el responsable de la infraestructura y, si lo hubiera, el proveedor designado para la prestación de servicios de tránsito aéreo de aeródromo para la reducción de las distancias mínimas de operación previstas en el artículo 23 ter.3, letra b), del Real Decreto 552/2014 de 27 de junio, deberán documentarse y el operador debe mantenerlos a disposición de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea. El contenido mínimo de estos procedimientos será el necesario, en cada caso, atendiendo entre otros al tipo de operación, volumen de tráfico y operaciones habituales en el aeródromo, para garantizar la seguridad de la operación en dicho entorno y la del resto de los tráficos de la infraestructura.

3. El estudio aeronáutico de seguridad que, conforme a lo previsto en el artículo 23 ter.3, letra c), del Real Decreto 552/2014 de 27 de junio, al efecto debe realizar el operador, coordinado con el proveedor de servicios de tránsito aéreo designado en el espacio aéreo de que se trate, para operar en espacio aéreo controlado o en una zona de información de vuelo (FIZ), incluida la zona de tránsito de aeródromo, deberá incorporarse al procedimiento de autorización del operador.

Artículo 25. *Condiciones meteorológicas de vuelo visual.*

Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) deben operar de día y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC), conforme a lo previsto en el artículo 23 ter.2, letra a), del Real Decreto 552/2014 de 27 de junio.

La realización de vuelos nocturnos requerirá la autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, previa solicitud del operador acompañada del estudio de seguridad previsto en el citado el artículo 23 ter.2, letra a), del Real Decreto 552/2014 de 27 de junio. En esta autorización la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, de conformidad con lo previsto en SERA.5005, letra c).5), del anexo del Reglamento SERA, podrá establecer la altitud mínima que corresponda para la realización de la operación.

El plazo máximo para resolver sobre la solicitud de autorización de vuelos nocturnos será de seis meses desde la solicitud, transcurrido el cual la solicitud podrá entenderse denegada de conformidad con lo previsto en la disposición adicional decimonovena de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

CAPÍTULO IV

Requisitos de la operación*Sección 1.ª Requisitos del operador***Artículo 26. Obligaciones generales.**

El operador de sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS), sin perjuicio del cumplimiento de cualquier otra obligación prevista en este real decreto, deberá cumplir los siguientes requisitos:

a) Disponer de la documentación relativa a la caracterización de las aeronaves que vaya a utilizar, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones, así como los procedimientos para su pilotaje, cuando, dichas aeronaves no dispongan, según corresponda, de certificado de aeronavegabilidad RPA o del certificado especial para vuelos experimentales. Esta documentación podrá incorporarse al manual de vuelo o documento equivalente.

b) Haber realizado un estudio aeronáutico de seguridad de la operación u operaciones, en el que se constate que pueden realizarse con seguridad, así como, en su caso, la idoneidad de la zona de seguridad para la realización de vuelos experimentales conforme a lo previsto en el artículo 23.2.

Este estudio, que podrá ser genérico o específico para un área geográfica o tipo de operación determinado, tendrá en cuenta las características básicas de la aeronave o aeronaves a utilizar y sus equipos y sistemas.

c) Disponer de una póliza de seguro u otra garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por los daños que puedan ocasionarse durante y por causa de la ejecución de las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales, según los límites de cobertura que se establecen:

1.º En el Real Decreto 37/2001, de 19 de enero, por el que se actualiza la cuantía de las indemnizaciones por daños previstas en la Ley 48/1960, de 21 de julio, de Navegación Aérea, para las aeronaves de menos de 20 kg de masa máxima al despegue.

2.º En el Reglamento (CE) n.º 785/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre los requisitos de seguro de las compañías aéreas y operadores aéreos, para aquellas aeronaves de masa máxima al despegue igual o superior a 20 kg.

d) Adoptar las medidas adecuadas para proteger a la aeronave de actos de interferencia ilícita durante las operaciones, incluyendo la interferencia deliberada del enlace de radio, y establecer los procedimientos necesarios para evitar el acceso de personal no autorizado a la estación de pilotaje remoto y a la ubicación del almacenamiento de la aeronave.

e) Asegurarse de que la aeronave pilotada por control remoto (RPA) y los equipos de telecomunicaciones que incorpora cumplan con la normativa reguladora de las telecomunicaciones y, en particular, y cuando sea necesario, con los requisitos establecidos para la comercialización, la puesta en servicio y el uso de equipos radioeléctricos.

f) Adoptar las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de lo dispuesto en materia de protección de datos personales y protección de la intimidad en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y en la Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen, sus normas de desarrollo y normativa concordante.

g) Notificar a la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil y al Sistema de Notificación de Sucesos de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, según corresponda, los accidentes e incidentes graves definidos en el Reglamento (UE) n.º 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, sobre investigación y prevención de accidentes e incidentes en la aviación civil y por el que se deroga la Directiva 94/56/CE y los sucesos a que se refieren el artículo 4 del Reglamento

(UE) n.º 376/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de abril de 2014, relativo a la notificación de sucesos en la aviación civil, que modifica el Reglamento (UE) n.º 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan la Directiva 2003/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y los Reglamentos (CE) n.º 1321/2007 y (CE) n.º 1330/2007 de la Comisión.

h) Asegurarse de que la operación y el personal que la realiza cumplen con los requisitos establecidos en este real decreto, que durante la realización de la operación el piloto porta la documentación exigida, que está en condiciones de realizar las operaciones conforme a las condiciones y limitaciones previstas en el certificado de aeronavegabilidad RPA o el Certificado especial para vuelos experimentales, cuando proceda, y en la solicitud de autorización o, según sea el caso, en la comunicación previa, así como adoptar cualquier otra medida adicional necesaria para garantizar la seguridad de la operación y para la protección de las personas y bienes subyacentes.

Artículo 27. Obligaciones específicas para la realización de operaciones aéreas especializadas.

1. Además de las obligaciones previstas en el artículo anterior, el operador que realice operaciones aéreas especializadas está obligado a:

a) Disponer de un manual de operaciones que establezca la información y los procedimientos para realizar sus operaciones, así como el entrenamiento práctico de los pilotos para el mantenimiento de su aptitud de acuerdo con lo previsto en el artículo 36.

Cuando se trate de una organización de formación, del fabricante o de una organización capacitada por éste conforme al artículo 33.1.d), y únicamente pretendan realizar operaciones aéreas especializadas de formación de pilotos, así como aquéllos operadores que pretendan realizar dicha operación aérea especializada, deberán disponer de un manual de instrucción con los procedimientos para la formación práctica de pilotos remotos.

El manual de operaciones o instrucción, según proceda, debe estar a disposición del personal involucrado en la actividad.

Además, en el programa de mantenimiento a que se refiere el artículo 18.1 deberán recogerse las instrucciones para la aeronavegabilidad continuada en relación con aquéllas aeronaves pilotadas por control remoto que dispongan de certificado de aeronavegabilidad RPA.

b) Haber realizado, con resultado satisfactorio, los vuelos de prueba que resulten necesarios para demostrar que la operación pretendida puede realizarse con seguridad.

2. Además:

a) Para la realización de las operaciones aéreas especializadas previstas en el artículo 21, apartados 2, letra b), y 3, el operador deberá realizar un estudio aeronáutico de seguridad detallado específico para la operación que pretenda realizar en el que se contemplen todos los aspectos previstos en el artículo 23 ter.3, letra a), del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio. Este estudio aeronáutico de seguridad se incorporará al procedimiento de autorización de la operación.

b) Para la realización de las operaciones aéreas especializadas en espacio aéreo controlado o zona de información de vuelo (FIZ), vuelos nocturnos o vuelos específicos no contemplados en este real decreto, el operador deberá realizar los estudios aeronáuticos de seguridad contemplados, respectivamente, en los artículos 24.3, 25 y 43.

Artículo 28. Requisitos adicionales relativos a la organización del operador.

1. Los operadores que realicen operaciones aéreas especializadas con aeronaves con una masa máxima al despegue que exceda de 25 kg, salvo que realicen únicamente las operaciones descritas en el artículo 21.1 con aeronaves con una masa máxima al despegue que no exceda de 50 kg, deberán:

a) Tener una organización, técnica y operativa, y una dirección adecuadas para garantizar el cumplimiento y mantenimiento de los requisitos establecidos en este real

decreto, que, teniendo en cuenta los riesgos inherentes a las operaciones que vaya a realizar, se ajusten a su magnitud y alcance y le permita ejercer un control operacional sobre todo el vuelo efectuado.

b) Haber designado responsables de las operaciones que acrediten suficiente cualificación para garantizar el cumplimiento de las normas especificadas en el manual de operaciones, así como responsables de la gestión de la aeronavegabilidad continuada que dispongan de cualificación apropiada para la función a desempeñar.

2. Los operadores que realicen vuelos experimentales deberán ser, en función del tipo de vuelo experimental que se realice, una de las organizaciones descritas en el artículo 5, letra s), y además cumplir con el apartado 1 a) anterior, así como, en su caso, el resto de los requisitos establecidos en este real decreto a la organización de que se trate.

Sección 2.ª Limitaciones en la operación

Artículo 29. Limitaciones relativas al pilotaje.

1. No podrá pilotarse una aeronave pilotada por control remoto (RPA) desde vehículos en movimiento, a menos que se cuente con una planificación de la operación que garantice que en ningún momento se interponga un obstáculo entre la estación de pilotaje remoto y la aeronave y que la velocidad del vehículo permita al piloto mantener la conciencia situacional de la posición de la aeronave (RPA) en el espacio y en relación con otros tráficos.

2. El piloto y los observadores no podrán realizar sus funciones respecto de más de una aeronave pilotada por control remoto (RPA) al mismo tiempo.

3. Para el caso de que se precise realizar una transferencia de control entre pilotos o estaciones de pilotaje remoto, el operador deberá elaborar protocolos específicos que deberán incluirse en el Manual de Operaciones a que hace referencia el artículo 27.1, letra a).

Artículo 30. Área de protección y zona de recuperación.

El operador deberá establecer un área de protección para el despegue y el aterrizaje, de manera que en un radio mínimo de 30 m no se encuentren personas que no estén bajo el control directo del operador, salvo en el caso de aeronaves de despegue y aterrizaje vertical, en cuyo caso el radio podrá reducirse hasta un mínimo de 10 m.

Además, el operador deberá establecer zonas de recuperación segura en el suelo de manera que, en caso de fallo, se pueda alcanzar una de ellas en cualquier momento sin riesgo de causar daños a terceras personas y bienes en el suelo. Para su delimitación el operador tendrá en cuenta el resultado del estudio aeronáutico de seguridad.

Artículo 31. Objetos y sustancias peligrosas.

1. Está prohibido llevar a bordo de una aeronave pilotada por control remoto (RPA) los objetos y sustancias que se enumeran en la lista de mercancías peligrosas de la última edición efectiva de las «Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea» (Documento OACI 9284-AN/905), o que, si no figuran en dicha lista, están clasificadas con arreglo a dichas instrucciones, salvo autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea de conformidad con la normativa aplicable.

2. El plazo máximo para resolver sobre la solicitud de autorización a que se refiere el apartado anterior será de seis meses desde su presentación, transcurrido el cual ésta podrá entenderse denegada de conformidad con lo previsto en la disposición adicional decimonovena de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

Artículo 32. *Sobrevuelo de instalaciones.*

1. El sobrevuelo por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de instalaciones afectas a la defensa nacional o a la seguridad del Estado, así como las actividades dentro de su zona de seguridad, y de centrales nucleares, sólo podrá realizarse con el permiso previo y expreso del responsable de la infraestructura.

2. El sobrevuelo por dichas aeronaves de las instalaciones e infraestructuras críticas de los sectores estratégicos previstos en la Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas, estará sujeto a las prohibiciones o limitaciones que establezca el Secretario de Estado de Seguridad del Ministerio del Interior, en el ejercicio de las funciones que le atribuye el artículo 6 del Real Decreto 704/2011, de 20 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de protección de las infraestructuras críticas. Estas resoluciones se publicarán en el «Boletín Oficial del Estado» y las prohibiciones o limitaciones establecidas en ellas, en la Publicación de Información Aeronáutica.

En todo caso, el sobrevuelo por dichas aeronaves de instalaciones e infraestructuras de la industria química, transporte, energía, agua y tecnologías de la información y comunicaciones deberá realizarse a una altura mínima sobre ellas de 50 m, y a un mínimo de 25 m de distancia horizontal de su eje en caso de infraestructuras lineales y a no menos de 10 m de distancia respecto de su perímetro exterior en el resto de los casos, salvo permiso expreso de su responsable para operar en esta zona de protección.

3. Lo dispuesto en este artículo se entiende sin perjuicio de las restricciones y prohibiciones establecidas en la Orden de 18 de enero de 1993 sobre zonas prohibidas y restringidas al vuelo, y normativa concordante, salvo en relación con la autorización del sobrevuelo de las centrales nucleares en las que será de aplicación lo previsto en el apartado 1, así como a las restricciones de carácter temporal que puedan acordarse conforme a la normativa aplicable.

CAPÍTULO V

Personal

Artículo 33. *Pilotos remotos.*

1. Los pilotos remotos deberán reunir los siguientes requisitos:

- a) Tener 18 años de edad cumplidos.
- b) Ser titulares del certificado médico en vigor que corresponda conforme a lo previsto en este capítulo, emitido por un centro médico aeronáutico o un médico examinador aéreo autorizado.
- c) Disponer de los conocimientos teóricos necesarios, conforme a lo previsto en el artículo siguiente.
- d) Disponer de un documento que constate que disponen de los conocimientos adecuados acerca de la aeronave del tipo que vayan a pilotar y sus sistemas, así como formación práctica en su pilotaje, o bien acerca de una aeronave de una categoría y tipo equivalente, conforme a lo previsto en el anexo I, siempre que quede acreditado por el operador dicha equivalencia. Parte de la formación práctica en el pilotaje podrá desarrollarse en sistemas sintéticos de entrenamiento.

Este documento podrá emitirse por el operador en relación con sus pilotos remotos, por el fabricante de la aeronave o una organización capacitada al efecto por éste conforme a lo previsto en el párrafo siguiente, así como por una organización de formación, en ningún caso, por el piloto para el que se solicita la autorización o se presenta la declaración.

A los efectos del párrafo anterior, el fabricante podrá capacitar a otras organizaciones que hayan recibido formación adecuada por parte de éste y dispongan de la documentación técnica de la aeronave necesaria para el ejercicio de dichas funciones de formación. A estos efectos, el fabricante expedirá un certificado a las organizaciones que cumplan estos requisitos.

e) Para vuelos en espacio aéreo controlado, disponer de los conocimientos necesarios para obtener la calificación de radiofonista, acreditados mediante habilitación anotada en una licencia de piloto o certificación emitida por una organización de formación aprobada (ATO) o escuela de ultraligeros, así como acreditar un conocimiento adecuado del idioma o idiomas utilizados en las comunicaciones entre el controlador y la aeronave, atendiendo a las condiciones operativas del espacio aéreo en el que se realice la operación.

2. Sin perjuicio de la responsabilidad del piloto, el operador es responsable del cumplimiento de los requisitos previstos en este capítulo por los pilotos de las aeronaves operadas por ellos.

Artículo 34. *Justificación de los conocimientos teóricos.*

1. Los conocimientos teóricos exigibles a los pilotos remotos quedarán justificados por cualquiera de los siguientes medios:

a) Ser o haber sido titulares de cualquier licencia de piloto, incluyendo la licencia de piloto de ultraligero, emitida conforme a la normativa vigente y no haber sido desposeídos de la misma en virtud de un procedimiento sancionador, o

b) Para las aeronaves de masa máxima al despegue no superior a 25 kg, disponer de uno de los siguientes certificados, emitido por una organización de formación, previa demostración como requisito de acceso, de que disponen de los conocimientos necesarios para comprender las materias que les van a ser impartidas:

1.º Para volar dentro del alcance visual del piloto, un certificado básico para el pilotaje de aeronaves pilotadas por control remoto en el que conste que dispone de los conocimientos teóricos adecuados en las materias de: normativa aeronáutica, conocimiento general de las aeronaves (genérico y específico), performance de la aeronave, meteorología, navegación e interpretación de mapas, procedimientos operacionales, comunicaciones y factores humanos para aeronaves pilotadas por control remoto.

2.º Para volar más allá del alcance visual del piloto, un certificado avanzado para el pilotaje de aeronaves pilotadas por control remoto, en el que consten además de los conocimientos teóricos señalados en el apartado 1.º, conocimientos de servicios de tránsito aéreo y comunicaciones avanzadas.

2. Sin perjuicio de lo dispuesto en el apartado anterior, conforme a lo previsto en la disposición final cuarta, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá establecer otros medios que acrediten, de forma fehaciente, que se dispone de los conocimientos teóricos necesarios para la obtención de cualquier licencia de piloto, incluyendo la de piloto de ultraligero.

Artículo 35. *Certificados médicos.*

Los pilotos que operen aeronaves de hasta 25 kg de masa máxima al despegue deberán ser titulares, como mínimo, de un certificado médico que se ajuste a lo previsto en el apartado MED.B.095 del anexo IV, Parte MED, del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011, en relación a los certificados médicos para la licencia de piloto de aeronave ligera (LAPL).

Los pilotos que operen aeronaves de una masa máxima al despegue superior a 25 kg deberán ser titulares como mínimo de un certificado médico de clase 2, que se ajuste a los requisitos establecidos por la sección 2, de la subparte B, del anexo IV, parte MED, del mencionado Reglamento (UE) n.º 1178/2011, de la Comisión, o alternatively, ser titulares como mínimo de un certificado médico de clase 3, que se ajuste a los requisitos establecidos por la Sección 2 de la subparte B del anexo IV, parte ATCO-MED, del Reglamento (UE) 2015/340 de la Comisión, de 20 de febrero de 2015, por el que se establecen requisitos técnicos y procedimientos administrativos relativos a las licencias y los certificados de los controladores de tránsito aéreo. El certificado deberá haber sido emitido por un centro médico aeronáutico o un médico examinador aéreo autorizado.

Las personas con discapacidad o trastornos psicofísicos cuyas disfuncionalidades les permitan pilotar aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), deberán ser titulares de un certificado médico nacional emitido conforme a los requisitos que se establezcan por orden del Ministro de Fomento, en cuya tramitación se consultará al Consejo Nacional de la Discapacidad.

Artículo 36. *Mantenimiento de la aptitud de piloto remoto.*

Para el mantenimiento de competencia práctica, conforme a lo previsto en el artículo 33.1, letra d), los pilotos que operen RPAS habrán de ejercer sus funciones de forma regular, de manera que en los últimos 3 meses se hayan realizado al menos 3 vuelos en cada categoría de aeronave en que se pretendan realizar operaciones, sean dichos vuelos de operación normal o específicos de entrenamiento. Parte de esa actividad podrá realizarse en sistemas sintéticos de entrenamiento.

Además, se deberá realizar un entrenamiento anual específico en cada categoría de aeronave y para cada una de las actividades que se vayan a realizar.

Para acreditar el cumplimiento de todo lo anterior, el piloto llevará un libro de vuelo en que se anotarán las actividades de vuelo y entrenamiento realizadas.

Artículo 37. *Documentación.*

Cuando estén en el ejercicio de sus funciones, los pilotos deberán portar los documentos y certificados acreditativos de todos los requisitos exigidos en este capítulo, así como la acreditación de que el operador dispone de la habilitación para realizar la operación, según proceda, mediante copia de la comunicación previa presentada o la correspondiente autorización, según proceda.

Artículo 38. *Observadores.*

Los observadores que apoyen a los pilotos en vuelos EVLOS deberán al menos, acreditar los conocimientos teóricos correspondientes a un piloto remoto conforme a lo establecido en este capítulo.

CAPÍTULO VI

Habilitación para el ejercicio de operaciones aéreas especializadas o para la realización de vuelos experimentales

Artículo 39. *Comunicación previa.*

1. El ejercicio de las operaciones aéreas especializadas contempladas en el artículo 21.1 y 2, letra a), siempre que no se realicen en espacio aéreo controlado o dentro de una zona de información de vuelo (FIZ), y la realización de vuelos experimentales, por aeronaves cuya masa máxima al despegue sea igual o inferior a 25 kg, estará sujeta a la comunicación previa a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

Igualmente queda sujeta a comunicación previa la habilitación para el ejercicio de las operaciones aéreas especializadas previstas en el artículo 21.1 por aeronaves cuya masa máxima al despegue no exceda de 50 kg, siempre que no se realicen en espacio aéreo controlado o dentro de una zona de información de vuelo (FIZ).

2. La comunicación previa que deberá presentar el operador tendrá el siguiente contenido mínimo:

a) Los datos identificativos del operador, de las aeronaves que vayan a utilizarse en la operación y de los pilotos que la realicen, así como las condiciones en que cada uno de ellos acredita los requisitos exigibles conforme lo previsto en el capítulo V.

b) El tipo de operación aérea especializada que vayan a desarrollar o, en otro caso, los vuelos experimentales que se vayan a realizar y sus perfiles, así como las características de la operación.

c) Cualquier otro establecido en las disposiciones de desarrollo.

3. Además de lo anterior, el operador estará obligado a disponer y conservar a disposición de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea los siguientes documentos:

a) El estudio aeronáutico de seguridad a que se refiere el artículo 26, letra b).

b) La documentación acreditativa de tener suscrita una póliza de seguro u otra garantía financiera que cubra la responsabilidad civil frente a terceros, de acuerdo a lo previsto en el artículo 26, letra c).

c) La descripción de la caracterización de dichas aeronaves, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones o, cuando sea el caso, el certificado de aeronavegabilidad RPA de dichas aeronaves.

d) Las condiciones o limitaciones adicionales que se van a aplicar a la operación o vuelo para garantizar la seguridad de las personas y bienes conforme a lo previsto en el artículo 26, letra h).

e) Cuando la comunicación previa se refiera a operaciones aéreas especializadas, el manual de operaciones o el manual de instrucción, según proceda conforme a lo previsto en el artículo 27.1, letra a), el programa de mantenimiento y la acreditación de haber realizado con resultado satisfactorio los vuelos de prueba exigidos por el artículo 27.1, letra b).

f) Cualquier otra documentación establecida en las disposiciones de desarrollo.

4. Cualquier modificación de la comunicación previa deberá ser comunicada a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, con la obligación de disponer y conservar a disposición de la misma la documentación acreditativa complementaria prevista en este artículo.

5. La comunicación previa y sus modificaciones habilita para el ejercicio de las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales incluidos en la comunicación previa desde la fecha de su presentación, con las condiciones o limitaciones que se hayan comunicado de conformidad con lo previsto en el apartado 3, letra d).

Artículo 40. *Autorización.*

1. Están sujetas a la previa autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, conforme a lo previsto en este artículo:

a) Las operaciones aéreas especializadas y vuelos experimentales por aeronaves cuya masa máxima al despegue sea superior a 25 kg, a excepción de las operaciones a que hace referencia el artículo 39.1, segundo párrafo.

b) Las operaciones aéreas especializadas contempladas en el artículo 21.2, letra b), y 3.

c) Las operaciones aéreas especializadas que, conforme a lo previsto en el artículo 24, pretendan operar en espacio aéreo controlado o en una zona de información de vuelo (FIZ), incluida la zona de tránsito de aeródromo.

d) Las operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales realizados de noche, conforme a lo previsto en el artículo 25.

e) Cualquier modificación en las condiciones de ejercicio de las actividades a que se refieren las letras anteriores o de los requisitos acreditados para obtener la autorización.

2. La solicitud del operador de autorización y sus modificaciones tendrán el contenido mínimo previsto en el artículo 39.2 para la comunicación previa y junto a ella deberá presentarse la documentación complementaria a que se refiere el artículo 39.3, así como:

a) Los estudios aeronáuticos de seguridad a que se refieren los artículos 24.3 y 27.2, letra a), en los supuestos contemplados en dichos preceptos.

b) El certificado de aeronavegabilidad RPA o el certificado especial para vuelos experimentales, cuando la masa máxima al despegue de las aeronaves incluidas en la solicitud exceda de 25 kg.

3. Además, cuando se solicite autorización para la realización de operaciones especiales más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) en los supuestos del artículo 21.2, letra b), y 22 según corresponda:

a) Se acreditará que se dispone de sistemas que permiten al piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo, mediante el certificado de aeronavegabilidad RPA que incluya dicho sistema.

En otro caso, cuando se trate de aeronaves que no dispongan de certificado de aeronavegabilidad RPA se presentará junto con la solicitud la documentación acreditativa de que se dispone del mencionado sistema para detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo, así como de su idoneidad a este fin, a efectos de su aprobación por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea conforme a lo previsto en el artículo 21.2, letra b).

b) Cuando las aeronaves que se vayan a utilizar en la operación no dispongan de los sistemas a que se refiere la letra a), se hará constar expresamente en la solicitud que estas operaciones aéreas especializadas se realizarán en espacio aéreo temporalmente segregado (TSA).

4. En el plazo máximo de seis meses desde la recepción de la solicitud la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, resolverá lo que proceda sobre la autorización solicitada, y, en los casos del apartado 3, letra a), segundo párrafo, sobre el sistema para detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo, pudiendo realizar a tal efecto las actuaciones de inspección que considere pertinentes. La autorización para la realización de operaciones que requieran utilizar espacio aéreo temporalmente segregado (TSA), se entenderá condicionada, en todo caso, a que los vuelos se realicen en un espacio temporalmente segregado (TSA) al efecto.

Transcurrido el plazo máximo previsto en el párrafo anterior sin que se haya dictado resolución expresa, el interesado podrá entender denegada su solicitud de conformidad con lo previsto en la disposición adicional decimonovena de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

Artículo 41. *Habilitación para la realización de vuelos experimentales por operadores autorizados en país de origen.*

Podrán realizar los vuelos experimentales incluidos en el ámbito de aplicación de este real decreto operadores de RPAS que dispongan de la autorización de la autoridad aeronáutica del país de origen para la realización de los vuelos de que se trate y acrediten ante la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, por el procedimiento que corresponda conforme a lo previsto en este capítulo, que los requisitos exigidos por la autoridad del país de origen son equivalentes a los establecidos en este real decreto.

La operación de estos vuelos experimentales se ajustará, en todo caso, a lo dispuesto en este real decreto y estará sujeta a la supervisión de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

Artículo 42. *Eficacia de la comunicación previa o autorización.*

1. La comunicación previa o autorización para la realización de operaciones aéreas especializadas, y sus modificaciones, habilita para el ejercicio de la actividad por tiempo indefinido, con sujeción, en todo caso, al cumplimiento de las limitaciones o condiciones de la operación establecidas en la comunicación previa o en la autorización, según proceda, y de los requisitos exigidos en la normativa de aplicación y en tanto se mantenga su cumplimiento.

La realización de operaciones aéreas especializadas en circunstancias operacionales o condiciones específicas no contempladas en los estudios aeronáuticos de seguridad, general o específicos, previsto en este real decreto, requerirá la modificación de la

comunicación previa o autorización, debiendo presentarse el correspondiente estudio complementario que contemple las nuevas circunstancias o condiciones específicas inicialmente no previstas.

2. La comunicación previa o autorización para la realización de los vuelos experimentales, y sus modificaciones, habilita exclusivamente para la realización de aquellos vuelos que, según sea el caso, se hayan autorizado o comunicado, y con sujeción, en todo caso, a las limitaciones o condiciones de la operación establecidas en la comunicación previa o en la autorización, así como al cumplimiento de los requisitos exigidos y en tanto se mantenga su cumplimiento.

Artículo 43. *Autorización de excepciones para la realización de operaciones o vuelos específicos.*

Excepcionalmente para atender a los nuevos desarrollos de la técnica o las necesidades de la actividad, y a solicitud del operador habilitado conforme a lo previsto en este capítulo, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá autorizar la realización de operaciones aéreas especializadas, distintas de las previstas en el artículo 3.2, o vuelos experimentales con excepciones al cumplimiento de los requisitos establecidos los capítulos II y III y, en su caso, a las condiciones de uso del espacio aéreo previstas en el artículo 23 quater del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, siempre que se acrediten niveles equivalentes de seguridad operacional mediante un estudio aeronáutico de seguridad realizado por el operador que incluya las condiciones o limitaciones que resulte necesario establecer al efecto.

La resolución de autorización, cuya vigencia no podrá exceder de 18 meses, prorrogables, establecerá las condiciones y limitaciones de la operación necesarias para satisfacer niveles equivalentes de seguridad a los establecidos por las disposiciones de cuyo cumplimiento se excepcione.

El plazo máximo para resolver sobre la solicitud de autorización de estas operaciones o vuelos específicos será de seis meses desde la presentación de la solicitud, transcurrido el cual ésta podrá entenderse denegada de conformidad con lo previsto en la disposición adicional decimonovena de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

Artículo 44. *Situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública.*

1. Cuando conforme a la legislación aplicable en relación con el deber de colaboración de los ciudadanos ante situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, las autoridades públicas responsables de la gestión de tales situaciones requieran la colaboración de los operadores habilitados conforme a lo previsto en este capítulo para el ejercicio de operaciones aéreas especializadas, éstos podrán realizar vuelos que no se ajusten a las condiciones y limitaciones previstas en este real decreto. En caso de que estos vuelos hayan de realizarse en espacio aéreo controlado, en una zona de información de vuelo, incluida la zona de tránsito de aeródromo o dentro de las zonas de protección establecidas en el artículo 23 ter.3, letra b), del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, el operador habrá de coordinarse previamente con el proveedor de servicios de tránsito aéreo correspondiente.

El operador, en estos casos, debe planificar y ejecutar estos vuelos de modo que minimice los riesgos para terceros.

2. La indemnización de los daños y perjuicios que sufran los operadores por la realización de estos vuelos se regirá por lo previsto en la legislación reguladora del deber de colaboración a que se hace referencia en el apartado anterior.

3. La autoridad pública que requiera la colaboración prevista en el apartado 1, deberá establecer las medidas de coordinación necesarias entre los distintos medios aéreos intervinientes para minimizar los riesgos a las aeronaves tripuladas y a terceros.

Disposición adicional primera. *Seguridad pública.*

1. La información sobre aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), operadores, fabricantes, pilotos y cualquier otra de la que disponga la Agencia Estatal de Seguridad Aérea en aplicación de lo dispuesto en este real decreto será cedida a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad competentes con sujeción a lo previsto en la normativa sobre protección de datos de carácter personal. Del mismo modo, el Ministerio del Interior cederá a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea los datos e información de que disponga que sean necesarios para el ejercicio de las funciones atribuidas a ésta.

A estos efectos la Agencia Estatal de Seguridad Aérea y el Ministerio del Interior podrán suscribir los acuerdos en que se concreten las condiciones de transmisión de la información. Corresponde en todo caso al Ministerio del Interior, conforme a la normativa de aplicación y los mecanismos de cooperación establecidos al efecto, la coordinación de esta información entre las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y las de las Comunidades Autónomas que cuenten con cuerpos de policía propios con competencias para la protección de las personas y bienes y el mantenimiento del orden público.

En los términos previstos en artículo 7.2 de la Ley Orgánica 4/2015, de 30 de marzo, de protección de la seguridad ciudadana, los operadores facilitarán los registros a que se refiere el artículo 16.2, a), a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y de las Comunidades Autónomas que cuenten con cuerpo de policía propio con competencias para la protección de los bienes y el mantenimiento del orden público, cuando sean requeridos por éstas.

2. Los propietarios de aeronaves pilotadas por control remoto antes de cualesquier uso fuera del espacio acotado y autorizado para exhibiciones aéreas, vuelo recreativo o competiciones deportivas, deberán cumplir con los requisitos de identificación recogidos en el artículo 8 de este real decreto.

Asimismo, las estaciones de pilotaje remoto deberán llevar fijada a su estructura una placa identificativa ignífuga en la que conste el nombre del propietario y los datos necesarios para ponerse en contacto con él.

3. Cuando sea necesario para garantizar la seguridad pública, la autoridad competente en la materia podrá acordar limitar la operación de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), cualesquiera que sean sus usos. Cuando estas limitaciones o prohibiciones afecten al uso del espacio aéreo, tendrán carácter temporal, y deberán publicarse con carácter previo el correspondiente NOTAM.

Sin perjuicio de lo anterior, dichas aeronaves deberán abstenerse de realizar cualesquiera actuaciones que puedan poner en riesgo la seguridad o regularidad de las operaciones aeronáuticas, así como la seguridad de las personas y bienes subyacentes.

4. La ejecución de las operaciones previstas en el artículo 21.3 requerirá una comunicación previa al Ministerio del Interior con un plazo mínimo de diez días de antelación respecto a la operación. Las autoridades competentes en materia de seguridad pública en el ámbito territorial de la operación podrán limitar o prohibir su realización cuando pueda dar lugar a graves riesgos para la protección de personas o bienes.

5. El incumplimiento de las obligaciones de comunicación o de las órdenes y restricciones previstas en esta disposición podrá ser objeto de las sanciones previstas en el capítulo V de la Ley Orgánica 4/2015, de 30 de marzo.

Disposición adicional segunda. *Obligaciones específicas en relación con los riesgos a la seguridad, regularidad o continuidad de las operaciones aeronáuticas.*

1. Los usuarios de las aeronaves pilotadas por control remoto destinadas exclusivamente a actividades deportivas, recreativas, de competición y exhibición, así como a las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguete, a las que no resulta de aplicación lo dispuesto en el capítulo VIII del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, deberán abstenerse de realizar cualesquiera actuaciones que puedan poner en riesgo la seguridad, regularidad o continuidad de las operaciones aeronáuticas, a cuyo fin deberán operar tales aeronaves:

a) A una distancia mínima de 8 km respecto del punto de referencia de cualquier aeropuerto o aeródromo y la misma distancia respecto de los ejes de las pistas y su prolongación, en ambas cabeceras, hasta una distancia de 6 km contados a partir del umbral en sentido de alejamiento de la pista. Esta distancia mínima podrá reducirse cuando así se haya acordado con el gestor aeroportuario o responsable de la infraestructura, y, si lo hubiera, con el proveedor de servicios de tránsito aéreo de aeródromo, y la operación se ajustará a lo establecido por éstos en el correspondiente procedimiento de coordinación.

b) Fuera del espacio aéreo controlado, las zonas de información de vuelo (FIZ) o de cualquier zona de tránsito de aeródromo (ATZ), salvo, en relación con las operaciones que se realicen desde infraestructuras destinadas a aeronaves pilotadas por control remoto, en las condiciones establecidas en los procedimientos de coordinación acordados por el responsable de dichas infraestructuras con el proveedor de servicios de tránsito aéreo.

c) A una altura máxima sobre el terreno no mayor de 400 pies (120m), o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m (500 ft) desde la aeronave.

d) En vuelo diurno y bajo condiciones meteorológicas de vuelo visual.

e) Dentro del alcance visual del piloto, sin ayuda de dispositivos ópticos o electrónicos, excepto lentes correctoras o gafas de sol. En el caso de que se usen dispositivos de visión en primera persona (FPV), la operación deberá realizarse dentro del alcance visual, sin ayuda de tales dispositivos, de observadores que permanezcan en contacto permanente con el piloto.

f) Dando prioridad a todas las demás categorías de aeronaves.

2. Como excepción a lo previsto en el apartado anterior, el uso de las aeronaves pilotadas por control remoto de hasta de 2 kg de MTOW que vuelen a una altura máxima sobre el terreno de 50 m sólo deberá respetar las restricciones previstas en las letras a), b) y e) de dicho apartado.

Disposición adicional tercera. Reglas de policía de la circulación aérea en la operación de aeronaves tripuladas por control remoto con fines recreativos, deportivos o lúdicos.

Las operaciones de las aeronaves pilotadas por control remoto destinadas exclusivamente a actividades deportivas, recreativas, de competición y exhibición, así como a las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguete no podrán realizarse:

a) Sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, salvo que se trate de aeronaves de hasta 250 g que operen a una altura máxima no superior a 20 m.

b) En las zonas reservadas, prohibidas o restringidas a la navegación aérea, así como sobre las instalaciones a que se refiere el artículo 32, con los límites previstos en dicho precepto.

Disposición adicional cuarta. Investigación de accidentes e incidentes.

En aquellos sucesos en los que la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil considere que se puede obtener enseñanzas para la seguridad operacional, abrirá investigación en los términos establecidos en el Reglamento (UE) n.º 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo.

Disposición adicional quinta. Infraestructuras para el uso de RPAS.

Cuando las administraciones públicas competentes sujeten a autorización la construcción de infraestructuras o la habilitación de zonas destinadas a las operaciones de despegue y aterrizaje de RPAS, incluidos los utilizados exclusivamente para exhibiciones aéreas, actividades deportivas, recreativas o de competición, de masa máxima al despegue superior a 150 kg, con carácter previo a dicha autorización deberán obtener los informes previstos en el artículo 9.2 de la Ley 21/2003, de 7 de julio.

En otro caso, la autorización de la construcción de estas infraestructuras o la habilitación de estas zonas no requerirá la solicitud de dichos informes debiendo respetar las servidumbres aeronáuticas, a cuyo efecto deberán atenderse a lo previsto en el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas.

Disposición adicional sexta. *No incremento del gasto público.*

Las medidas incluidas en este real decreto serán atendidas con las disponibilidades presupuestarias existentes en cada ejercicio y con los medios personales existentes y no podrán suponer incremento de dotaciones ni de retribuciones ni de otros gastos de personal.

Disposición transitoria única. *Normas transitorias.*

1. Los operadores de aeronaves pilotados por control remoto (RPA) habilitados para la realización de operaciones aéreas especializadas o vuelos experimentales conforme a lo previsto en el artículo 50 de la Ley 18/2014, de 15 de octubre, disponen de un plazo de tres meses para adaptarse a lo dispuesto en este real decreto.

2. A las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de más de 150 kg y hasta 450 kg de masa máxima al despegue, les será de aplicación lo dispuesto en el artículo 18.1 y 2, hasta que se adopte la normativa específica sobre aeronavegabilidad de aeronaves ultraligeras motorizadas.

3. Las organizaciones que hayan recibido formación adecuada del fabricante o, en su caso, del titular del certificado de tipo y dispongan de la documentación técnica de la aeronave necesaria para el ejercicio de sus funciones, podrán realizar el mantenimiento de las aeronaves hasta que se adopte la orden prevista en el artículo 17. Con esta finalidad, el fabricante o titular del certificado de tipo, según corresponda, expedirá un certificado a las organizaciones que cumplan tales requisitos.

Disposición derogatoria única. *Normas derogatorias.*

A la entrada en vigor de este real decreto surtirá efecto la derogación prevista en el apartado dos de la disposición final segunda de la Ley 18/2014, de 15 de octubre.

Disposición final primera. *Modificación del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.*

Se introducen las siguientes modificaciones en el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea:

Uno. Se adiciona un nuevo capítulo VIII, renumerando el actual capítulo VIII como IX, que pasa a quedar redactado como sigue:

«CAPÍTULO VIII

Sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS)

Artículo 23 bis. *Reglas del aire aplicables a las aeronaves pilotadas por control remoto.*

1. Las alturas mínimas y condiciones de uso del espacio aéreo de las aeronaves pilotadas por control remoto no destinadas exclusivamente a actividades deportivas, recreativas, de competición y exhibición, así como a las actividades lúdicas propias de las aeronaves de juguetes, se ajustarán a lo dispuesto en este capítulo y, en lo no previsto en él, a las reglas del aire que les resulten de aplicación conforme a lo dispuesto en el Reglamento SERA y en este real decreto.

2. A los efectos previstos en este capítulo, serán de aplicación las definiciones del artículo 5 del Real Decreto (...), por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), en lo que resulten aplicables, las previstas en SERA.

Artículo 23 ter. *Condiciones de uso del espacio aéreo.*

1. Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) además de operar conforme a lo previsto en el artículo 15.1, letra a), podrán hacerlo por debajo de las alturas mínimas previstas en SERA. 5005, letra f), apartado 1), en ambos casos, con sujeción a lo dispuesto en este capítulo.

2. La operación se realizará:

a) En vuelo diurno y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC).

Sólo podrán realizarse vuelos nocturnos con sujeción a las limitaciones y condiciones que establezca al efecto un estudio aeronáutico de seguridad realizado por el operador de la aeronave, en el que se constata la seguridad de la operación en tales condiciones.

b) Dentro del alcance visual del piloto (VLOS) o de observadores que estén en contacto permanente por radio con aquél (EVLOS), a una altura sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m), o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m (500 ft) desde la aeronave.

c) Más allá del alcance visual del piloto (BVLOS), siempre dentro del alcance directo de la emisión por radio de la estación de pilotaje remoto que permita un enlace de mando y control efectivo, cuando se cuente con sistemas certificados o autorizados por la autoridad competente que permitan detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. Si no cuenta con tales sistemas estos vuelos sólo podrán realizarse en espacio aéreo temporalmente segregado (TSA).

3. Además de lo previsto en el apartado anterior:

a) La operación sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre y aquéllas que se realicen más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) por aeronaves que no dispongan de certificado de aeronavegabilidad, deberá ajustarse a las limitaciones y condiciones establecidas en un estudio aeronáutico de seguridad realizado al efecto por el operador de la aeronave en el que se contemplen todos los posibles fallos de la aeronave y sus sistemas de control, incluyendo la estación de pilotaje remoto y el enlace de mando y control, así como sus efectos.

La realización de estas operaciones por aeronaves que cuenten con certificado de aeronavegabilidad se ajustará a las limitaciones y condiciones de dicho certificado.

b) La operación debe realizarse fuera de la zona de tránsito de aeródromo y a una distancia mínima de 8 km del punto de referencia de cualquier aeropuerto o aeródromo y la misma distancia respecto de los ejes de las pistas y su prolongación, en ambas cabeceras, hasta una distancia de 6 km contados a partir del umbral en sentido de alejamiento de la pista, o, para el caso de operaciones más allá del alcance visual del piloto (BVLOS), cuando la infraestructura cuente con procedimientos de vuelo instrumental, a una distancia mínima de 15 km de dicho punto de referencia. Esta distancia mínima podrá reducirse cuando así se haya acordado con el gestor aeroportuario o responsable de la infraestructura, y, si lo hubiera con el proveedor de servicios de tránsito aéreo de aeródromo, y la operación se ajustará a lo establecido por éstos en el correspondiente procedimiento de coordinación.

c) Asimismo, la operación debe realizarse en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), salvo que mediante un estudio aeronáutico de seguridad, realizado al efecto por el operador y coordinado con el proveedor de servicios de tránsito aéreo designado en el espacio aéreo de que se trate, se constata la seguridad de la operación. En tales casos la operación se realizará con sujeción a las condiciones y limitaciones y establecidas en dicho

estudio aeronáutico de seguridad y previa autorización del control de tránsito aéreo o comunicación al personal de información de vuelo de aeródromo (AFIS).

4. Como excepción a lo previsto en el apartado 2, letra c), las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) también podrán operar en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) y dentro del alcance directo de la emisión por radio de la estación de pilotaje remoto que permita un enlace de mando y control efectivo, cuando se trate de aeronaves cuya masa máxima al despegue sea de hasta 2 kg, y la operación se realice a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 400 pies (120 m), o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m (500 ft) desde la aeronave.

Estas operaciones estarán sujetas a la publicación, con antelación suficiente, de un NOTAM para informar de la operación al resto de los usuarios del espacio aéreo de la zona en que ésta vaya a tener lugar.

Excepcionalmente podrán realizarse estas operaciones por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad en el desarrollo de las competencias atribuidas por la Ley Orgánica 2/1986, de 13 de marzo, y por el Servicio de Vigilancia Aduanera en el marco de sus atribuciones, sin la emisión del correspondiente NOTAM cuando las operaciones tengan por objeto la lucha contra el crimen organizado, el terrorismo, o amenazas graves a la seguridad ciudadana, siempre que a través de mecanismos de coordinación acordados entre los Ministerios del Interior; Hacienda y Función Pública o de la Presidencia, según corresponda, y la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, previa consulta con ENAIRE, se hayan establecido mecanismos alternativos a la publicación de NOTAM que garanticen la seguridad de las operaciones aéreas y la operación se realice con sujeción a ellos.

5. En el primer contacto con las dependencias de los servicios de tránsito aéreo los indicativos de llamada de las aeronaves pilotadas por control remoto deberán incluir las palabras “No tripulado” o “Unmanned” y en el plan de vuelo se hará constar expresamente que se trata de una aeronave pilotada por control remoto (RPA).

6. Los procedimientos de gestión de tránsito aéreo en la provisión de los servicios de control de tránsito aéreo a las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) serán los mismos que los aplicables a las aeronaves tripuladas.

7. Las aeronaves incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto (...) [por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA)], además estarán sujetas al cumplimiento de lo previsto en dicha disposición y sus normas de desarrollo.

Artículo 23 quáter. *Requisitos de los equipos.*

1. Los Sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS) deberán contar con los equipos requeridos para el vuelo en el espacio aéreo de que se trate, conforme a las reglas del aire aplicables, y en particular con:

a) Un equipo de comunicaciones adecuado capaz de sostener comunicaciones bidireccionales con las estaciones aeronáuticas y en las frecuencias indicadas para cumplir los requisitos aplicables al espacio aéreo en que se opere.

b) Un sistema para la terminación segura del vuelo. En caso de las operaciones sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, estará provisto de un dispositivo de limitación de energía del impacto.

c) Equipos para garantizar que la aeronave opere dentro de las limitaciones previstas, incluyendo el volumen de espacio aéreo en el que se pretende que quede confinado el vuelo.

d) Medios para que el piloto conozca la posición de la aeronave durante el vuelo.

e) Luces u otros dispositivos, o pintura adecuada para garantizar su visibilidad.

2. Además, todas las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) que pretendan volar en espacio controlado, excepto operaciones dentro del alcance visual del piloto (VLOS) de aeronaves cuya masa máxima al despegue no exceda de 25 kg, deberán estar equipadas con un transpondedor Modo S. El transpondedor deberá desconectarse cuando lo solicite el proveedor de servicios de tránsito aéreo.

3. Adicionalmente, en caso de operaciones más allá del alcance visual del piloto (BVLOS), la aeronave pilotada por control remoto (RPA) deberá tener instalado un dispositivo de visión orientado hacia delante.»

Dos. Se modifica el título de la disposición final cuarta que pasa a denominarse «Habilitación normativa y medidas de ejecución», y se le adiciona un nuevo apartado 3, del siguiente tenor:

«3. Por Resolución del Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, publicada en el “Boletín Oficial del Estado”, se podrán establecer los medios aceptables de cumplimiento para la acreditación de los requisitos establecidos en el artículo 23 quáter para los equipos requeridos para el vuelo en el espacio aéreo de que se trate por sistemas civiles de aeronaves pilotadas por control remoto.»

Disposición final segunda. *Actualización de referencias.*

Las referencias de la disposición transitoria primera del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, al capítulo VIII deberán entenderse realizadas al capítulo IX.

Disposición final tercera. *Régimen supletorio.*

En lo no previsto en este real decreto en materia de procedimientos será de aplicación lo establecido en la Ley 39/2015, de 1 de octubre.

Disposición final cuarta. *Medidas de ejecución.*

Por resolución del Director de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, publicada en el «Boletín Oficial del Estado», se podrán establecer, en el ámbito de las competencias de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, los medios aceptables de cumplimiento para la acreditación de los requisitos establecidos en este real decreto y de sus disposiciones de desarrollo.

Asimismo, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea podrá adoptar y publicar en su página web cualquier documentación orientativa para la aplicación de lo dispuesto en este real decreto y sus disposiciones de desarrollo, entre otros material guía, que faciliten su cumplimiento.

Disposición final quinta. *Habilitación normativa.*

Por orden del Ministro de Fomento se podrán dictar las disposiciones de desarrollo de este real decreto, en particular para establecer los criterios que permitan determinar que la aeronave es de diseño simple y los requisitos de los certificados médicos de las personas con discapacidad.

En el plazo de doce meses desde la entrada en vigor de este real decreto por orden del Ministro de Fomento se establecerán los requisitos exigibles a las organizaciones de formación de pilotos exclusivamente de aeronaves pilotadas por control remoto, distintas de las organizaciones de formación aprobadas conforme al anexo VII del Reglamento (UE) n.º 1178/2011 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2011 y de las escuelas de vuelo de ultraligeros, o de vuelo sin motor, para su habilitación como organizaciones de formación de pilotos remotos a los efectos previstos en los artículos 33.1, letra d), y 34.1.b).

Asimismo, en el plazo de doce meses desde la entrada en vigor de este real decreto por orden del Ministro de Fomento se establecerán los requisitos exigibles a las organizaciones de mantenimiento de aeronaves controladas por control remoto (RPA) previstas en el artículo 17.

Disposición final sexta. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de la competencia exclusiva que atribuye al Estado el artículo 149.1.20.^a de la Constitución en materia de control del espacio aéreo, tránsito y transporte aéreo y matriculación de aeronaves.

El artículo 44 y la disposición adicional primera se dictan al amparo de la competencia exclusiva que atribuye al Estado el artículo 149.1.29.^a de la Constitución en materia de seguridad pública.

Disposición final séptima. *Entrada en vigor.*

Este real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado», salvo lo dispuesto en la disposición adicional primera, apartado 2, que resultará exigible a los seis meses de dicha publicación.

Dado en Madrid, el 15 de diciembre de 2017.

FELIPE R.

La Vicepresidenta del Gobierno y Ministra de la Presidencia
y para las Administraciones Territoriales,
SORAYA SÁENZ DE SANTAMARÍA ANTÓN

ANEXO I

Categoría y tipo de aeronaves equivalentes a los efectos de lo dispuesto en el artículo 33.1, letra d)

A los efectos previstos en el artículo 33.1, letra d), y en el caso de aeronaves de masa máxima al despegue no superior a 25 kg, se consideran aeronaves de categoría y tipo equivalente aquellas que se acredite que son similares en todos los siguientes aspectos: configuración, peso, sistema de control y actuaciones. A estos efectos:

a) En cuanto a configuración, se considerarán equivalentes, entre sí, las aeronaves de cada una de las siguientes categorías:

- 1.º Aviones.
- 2.º Helicópteros.
- 3.º Multirrotores.
- 4.º Dirigibles.

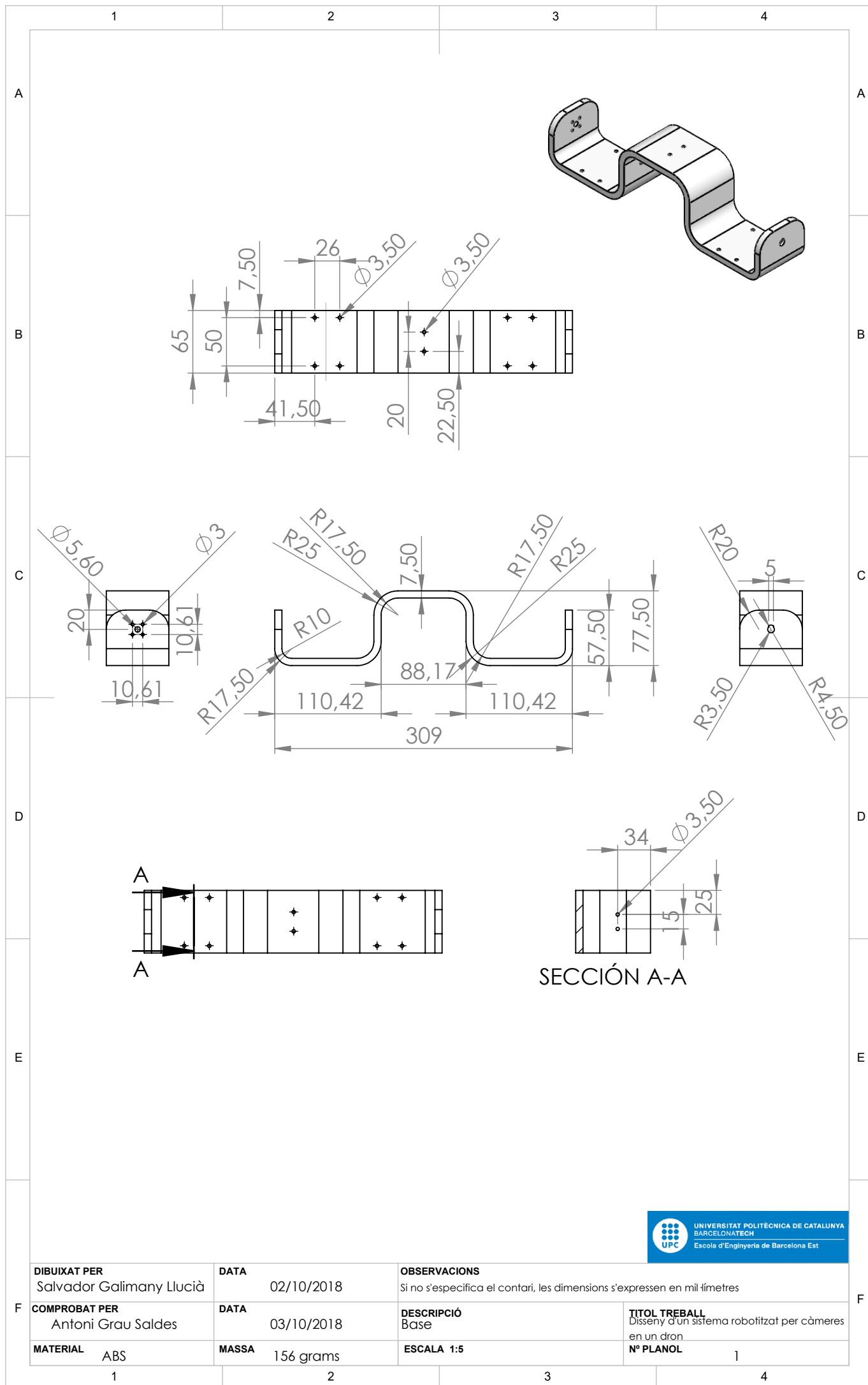
b) En cuanto a peso se considerarán equivalentes entre sí las aeronaves de las siguientes categorías:

- 1.º Las aeronaves de entre 0 a 5 kg de masa máxima al despegue.
- 2.º Las aeronaves de entre 5 a 15 kg de masa máxima al despegue.
- 3.º Las aeronaves de 15 a 25 kg de masa máxima al despegue.

c) En cuanto a sistemas de control, la equivalencia se establecerá en relación con las funciones que sea capaz de desarrollar el sistema automático de control de vuelo o sistema de estabilización con el que esté equipada la aeronave.

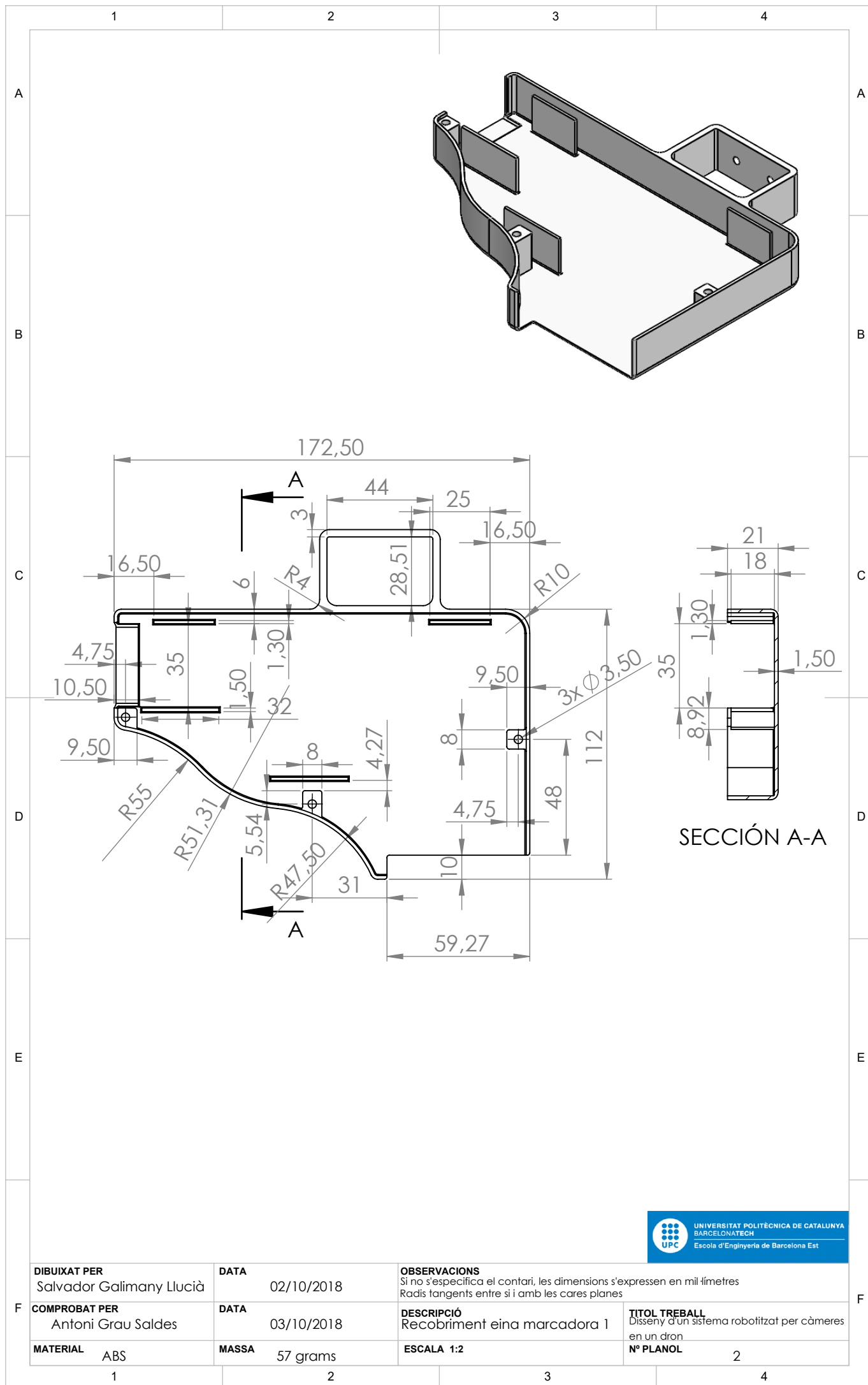
d) En cuanto a las prestaciones, la equivalencia se establecerá en relación con las velocidades máxima y mínima, velocidad ascensional, techo de ascenso, actuaciones en despegue y el resto de sus prestaciones características.

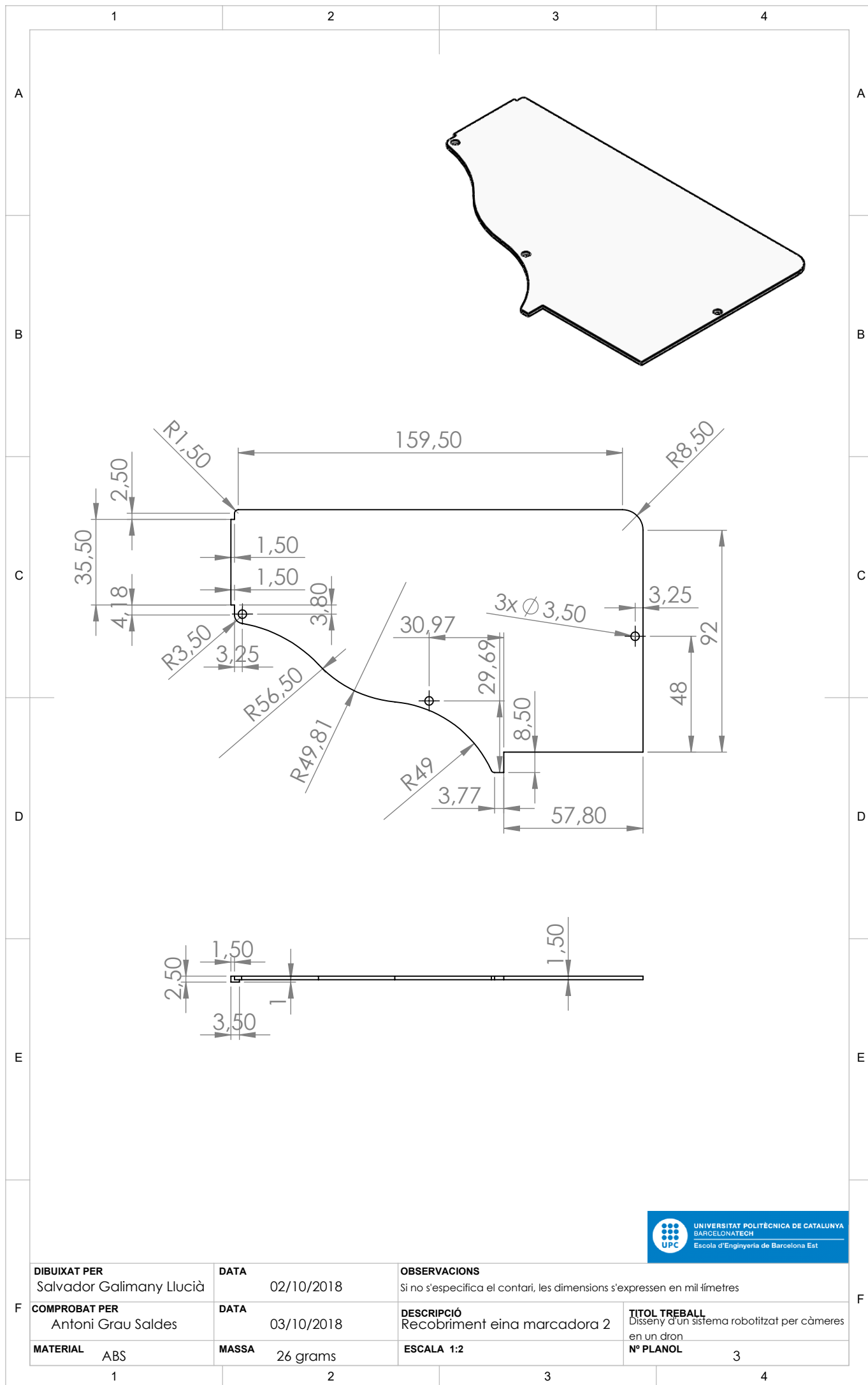
A4. Plànols




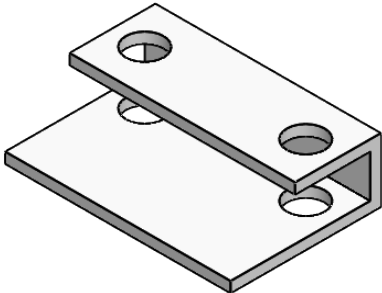
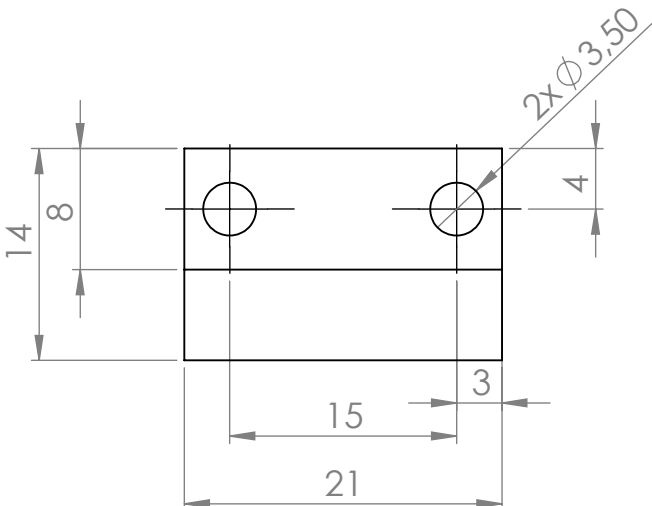
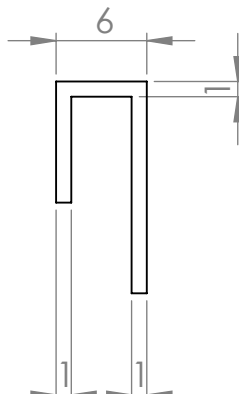

F	DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres	
	COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Base	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron
	MATERIAL ABS	MASSA 156 grams	ESCALA 1:5	Nº PLANOL 1

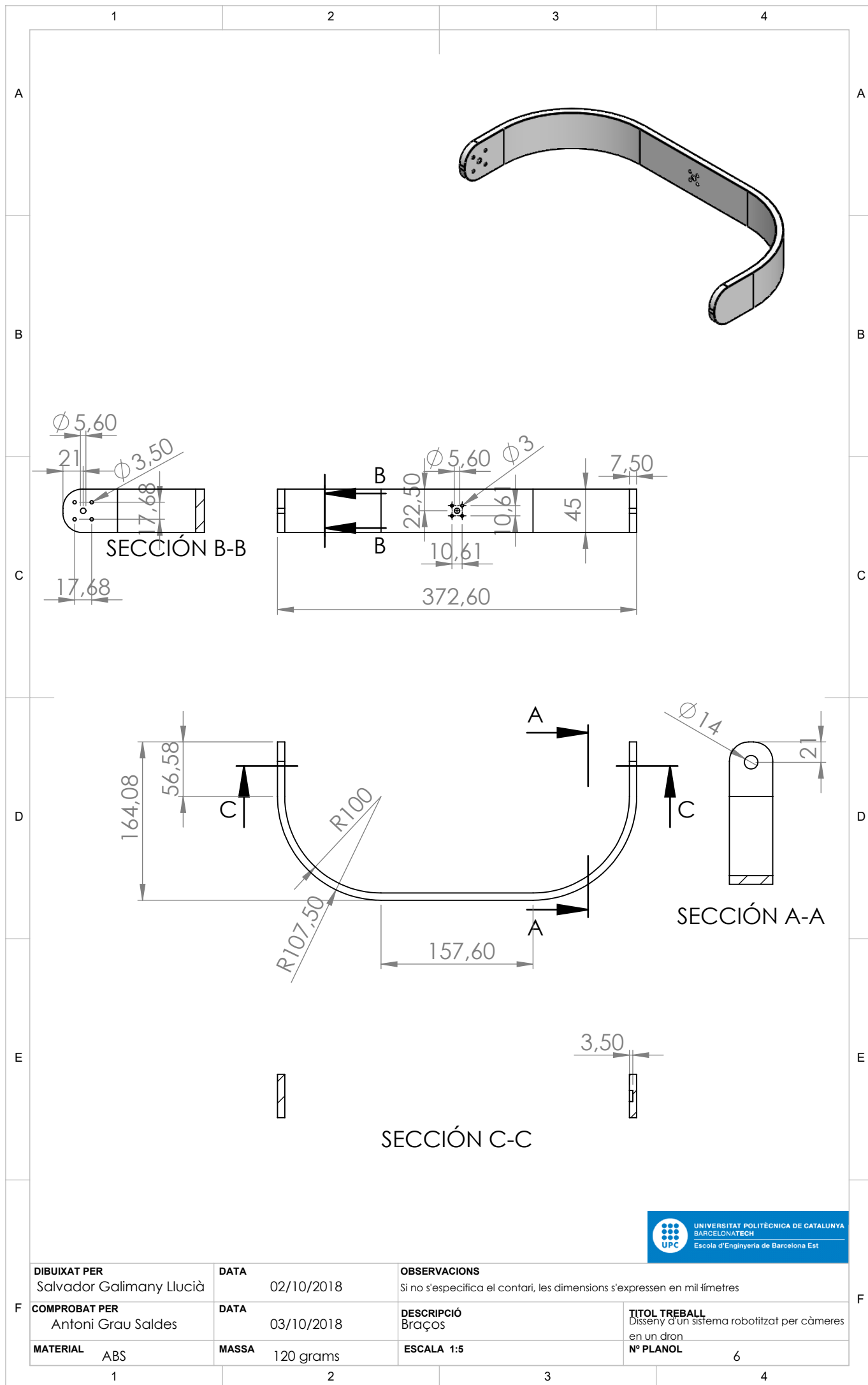
1
2
3
4



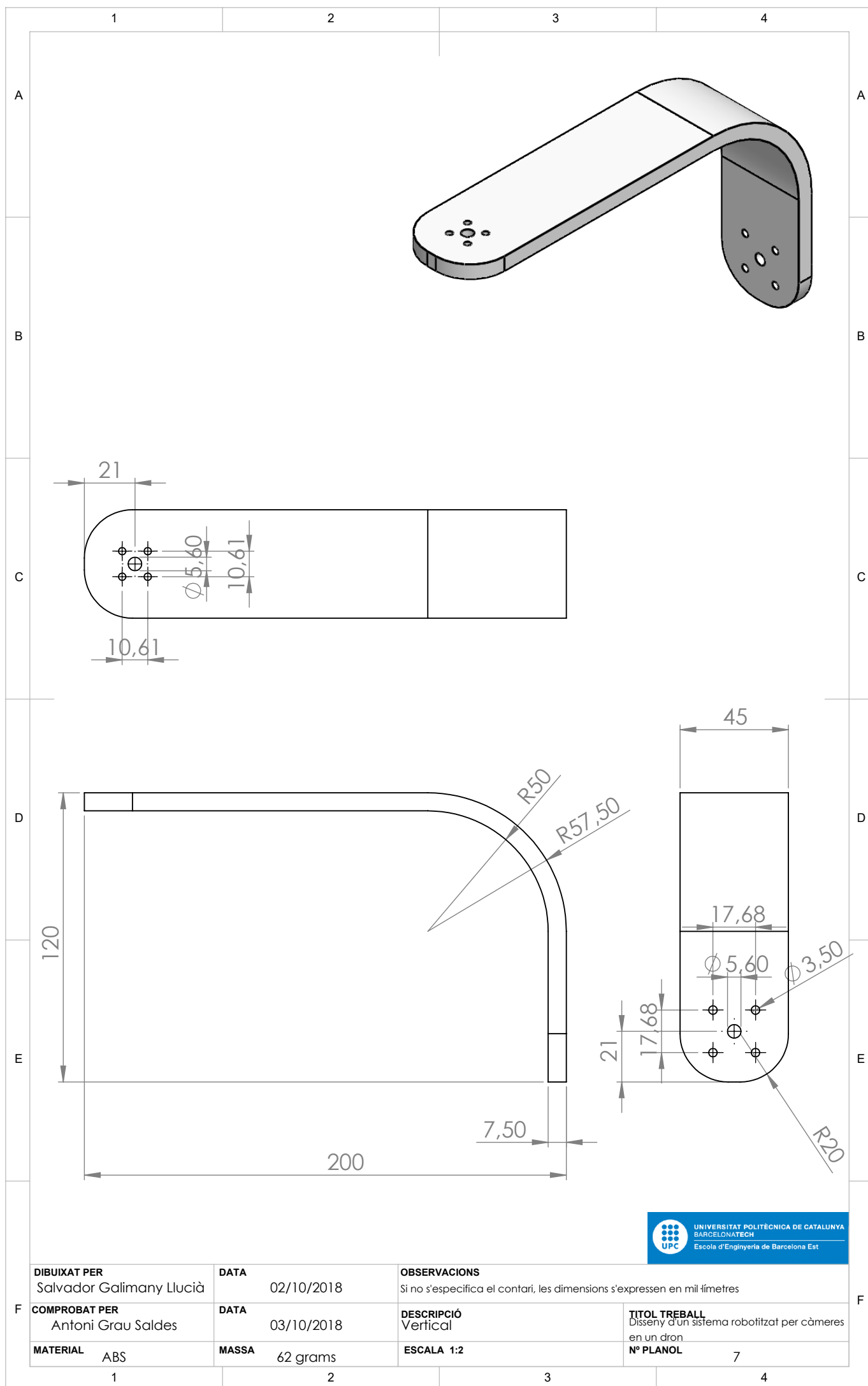


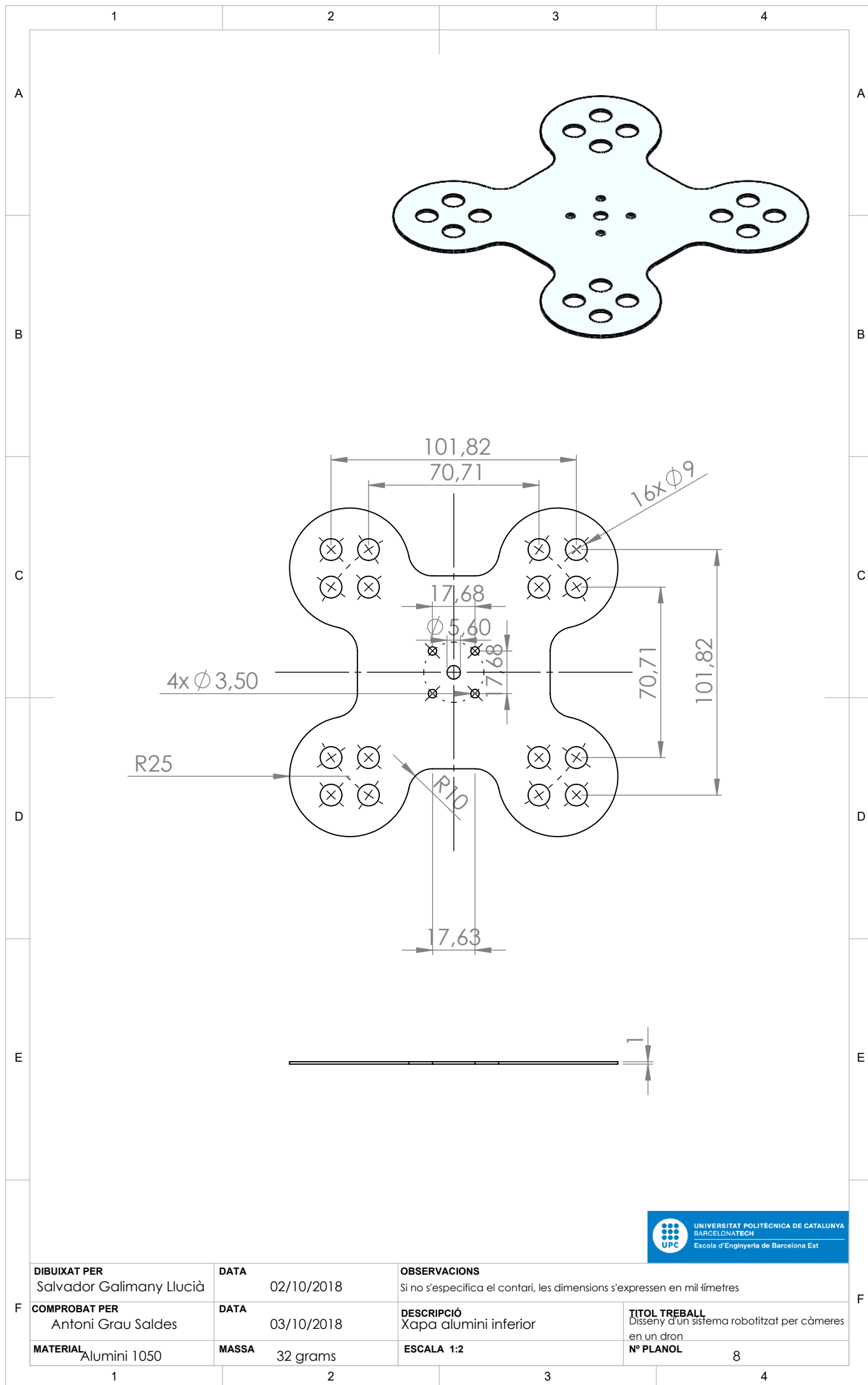
	1	2	3	4												
A																
B																
C																
D																
E																
F	<div>  <div> UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est </div> </div> <table border="1"> <tr> <td>DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà</td> <td>DATA 02/10/2018</td> <td colspan="2">OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres</td> </tr> <tr> <td>COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes</td> <td>DATA 03/10/2018</td> <td>DESCRIPCIÓ Eix</td> <td>TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL ABS</td> <td>MASSA 1 gram</td> <td>ESCALA 2:1</td> <td>Nº PLANOL 4</td> </tr> </table>				DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres		COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Eix	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron	MATERIAL ABS	MASSA 1 gram	ESCALA 2:1	Nº PLANOL 4
DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres														
COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Eix	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron													
MATERIAL ABS	MASSA 1 gram	ESCALA 2:1	Nº PLANOL 4													
	1	2	3	4												

	1	2	3	4												
A																
B																
C																
D																
E																
F	<div data-bbox="1197 1915 1516 2004">  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est </div> <table border="1"> <tr> <td>DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià</td> <td>DATA 02/10/2018</td> <td colspan="2">OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres</td> </tr> <tr> <td>COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes</td> <td>DATA 03/10/2018</td> <td>DESCRIPCIÓ Suport MPU6050</td> <td>TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL ABS</td> <td>MASSA 1 gram</td> <td>ESCALA 2:1</td> <td>Nº PLANOL 5</td> </tr> </table>				DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres		COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Suport MPU6050	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron	MATERIAL ABS	MASSA 1 gram	ESCALA 2:1	Nº PLANOL 5
DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres														
COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Suport MPU6050	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron													
MATERIAL ABS	MASSA 1 gram	ESCALA 2:1	Nº PLANOL 5													
	1	2	3	4												

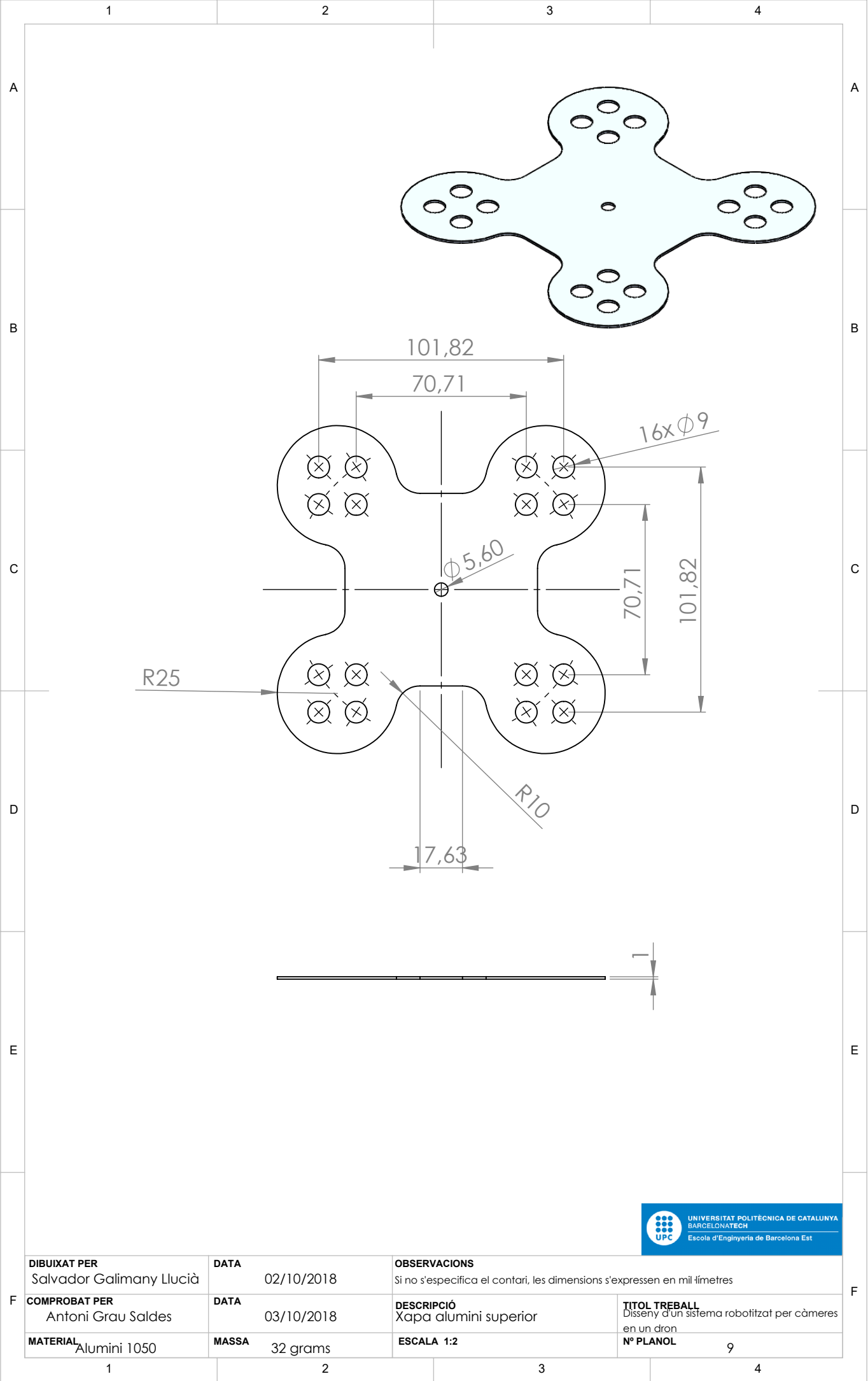


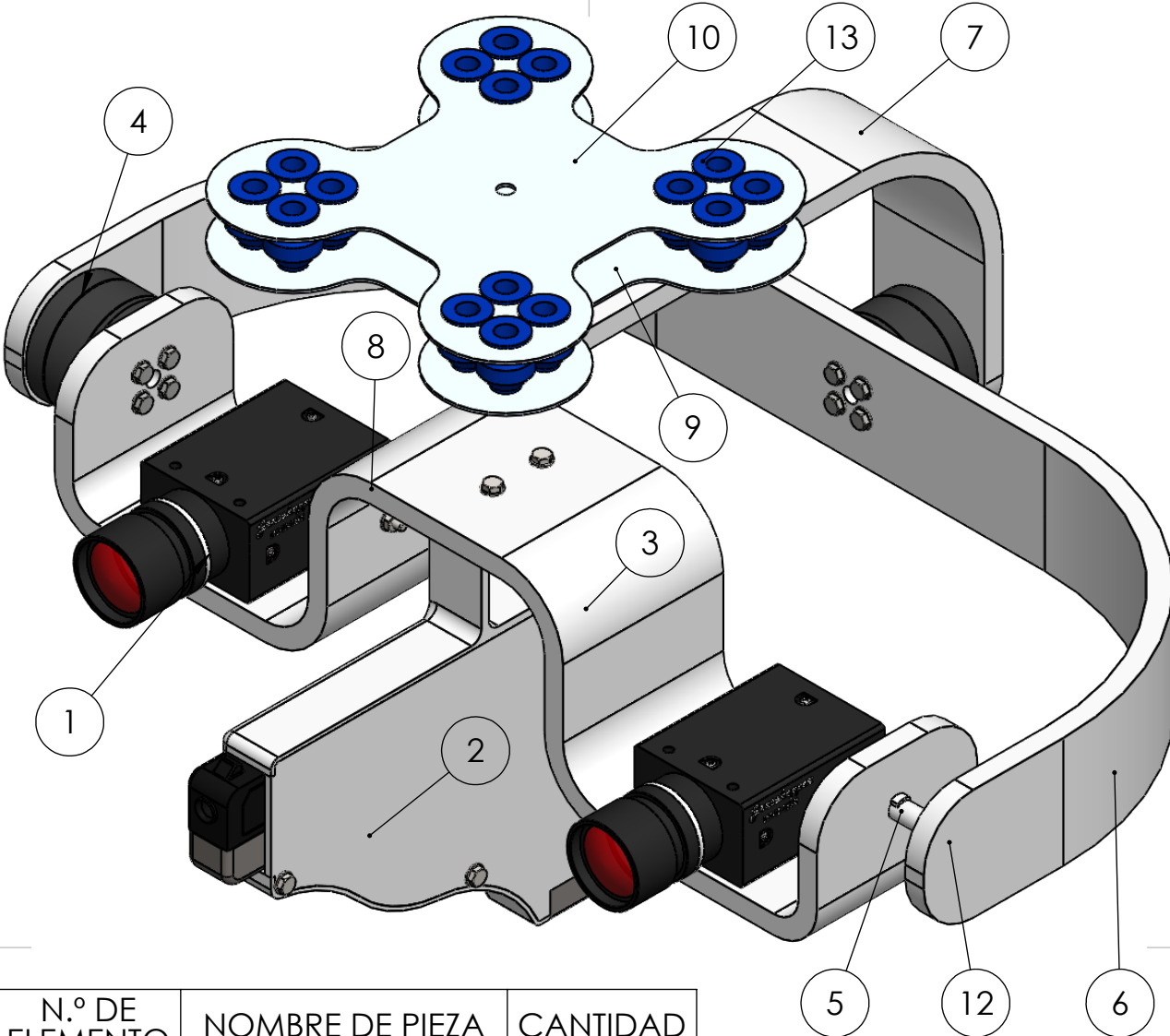
F	DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres	
	COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Braços	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron
	MATERIAL ABS	MASSA 120 grams	ESCALA 1:5	Nº PLANOL 6





F	DIBUIXAT PER Salvador Galimany Lluçà	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres	
	COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Xapa alumini inferior	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron
	MATERIAL Alumini 1050	MASSA 32 grams	ESCALA 1:2	Nº PLANOL 8



	1	2	3	4																																											
A					A																																										
B					B																																										
C					C																																										
D	<table><tr><th>N.º DE ELEMENTO</th><th>NOMBRE DE PIEZA</th><th>CANTIDAD</th></tr><tr><td>1</td><td>Conjunt camera objectiu</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>Conjunt marcadora recobriment</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>Base</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>GB36-1</td><td>3</td></tr><tr><td>5</td><td>Eix</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>Braços</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>Vertical</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>Suport MPU6050</td><td>1</td></tr><tr><td>9</td><td>Xapa alumini inferior</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>Xapa alumini superior</td><td>1</td></tr><tr><td>11</td><td>MPU 6050 IMU</td><td>1</td></tr><tr><td>12</td><td>Rodament 618 7</td><td>1</td></tr><tr><td>13</td><td>Goma antivibració</td><td>16</td></tr></table>				N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD	1	Conjunt camera objectiu	2	2	Conjunt marcadora recobriment	1	3	Base	1	4	GB36-1	3	5	Eix	1	6	Braços	1	7	Vertical	1	8	Suport MPU6050	1	9	Xapa alumini inferior	1	10	Xapa alumini superior	1	11	MPU 6050 IMU	1	12	Rodament 618 7	1	13	Goma antivibració	16	D
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD																																													
1	Conjunt camera objectiu	2																																													
2	Conjunt marcadora recobriment	1																																													
3	Base	1																																													
4	GB36-1	3																																													
5	Eix	1																																													
6	Braços	1																																													
7	Vertical	1																																													
8	Suport MPU6050	1																																													
9	Xapa alumini inferior	1																																													
10	Xapa alumini superior	1																																													
11	MPU 6050 IMU	1																																													
12	Rodament 618 7	1																																													
13	Goma antivibració	16																																													
E					E																																										
F	<table><tr><td>DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià</td><td>DATA 02/10/2018</td><td colspan="2">OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres En en llistat de materials s'ha obviat tot el cargolam</td></tr><tr><td>COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes</td><td>DATA 03/10/2018</td><td>DESCRIPCIÓ Gimbal complet</td><td>TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron</td></tr><tr><td>MATERIAL -</td><td>MASSA -</td><td>ESCALA 1:2</td><td>Nº PLANOL 10</td></tr></table>				DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres En en llistat de materials s'ha obviat tot el cargolam		COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Gimbal complet	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron	MATERIAL -	MASSA -	ESCALA 1:2	Nº PLANOL 10	F																														
DIBUIXAT PER Salvador Galimany Llucià	DATA 02/10/2018	OBSERVACIONS Si no s'especifica el contari, les dimensions s'expressen en mil·límetres En en llistat de materials s'ha obviat tot el cargolam																																													
COMPROBAT PER Antoni Grau Saldes	DATA 03/10/2018	DESCRIPCIÓ Gimbal complet	TÍTOL TREBALL Disseny d'un sistema robotitzat per càmeres en un dron																																												
MATERIAL -	MASSA -	ESCALA 1:2	Nº PLANOL 10																																												
	1	2	3	4																																											